

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



15 2026
ЧАСТЬ I

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 15 (618) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук
Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

На обложке изображен Уильям Гарвей (1578–1657), английский медик и анатом.

Уильям Гарвей родился в городке Фолкстон на берегу Ла-Манша, в графстве Кент. Отец его, Томас Гарвей, кентский йомен, занимался торговлей и нажил значительное состояние.

В 1588 году Уильям Гарвей поступил в Королевскую школу в Кентербери, где изучал латынь, а позднее был принят в колледж Гонвилл-энд-Киз Кембриджского университета. Эти годы он посвятил изучению «дисциплин, полезных для врача» — классических языков (латыни и древнегреческого), риторики, философии и математики, а также чтению и обсуждению произведений Гиппократов, Галена и других древних авторов. В 1597 году Гарвей получил звание бакалавра, и покинул Кембридж: по обычаю выпускников того времени, он отправился в пятилетнее путешествие и посетил Падую.

В 1600 году он занимал выборную должность «старосты» — представителя английских студентов в Падуанском университете. Анатомические исследования там процветали благодаря Джироламо Фабрицио д'Аквапенте, который возглавлял вначале кафедру хирургии, а затем кафедры анатомии и эмбриологии. Фабрицио был учеником и последователем Габриеле Фаллопия. Среди падуанских учителей Гарвея был также Джулио Кассерио.

В 1602 году Гарвей завершил образование, получил степень доктора медицины и вернулся в Лондон, где спустя несколько лет стал действительным членом Коллегии врачей. А в 1609 году Гарвея официально зачислили врачом в штат больницы св. Варфоломея. Кроме того, он работал в Коллегии врачей и проводил собственные экспериментальные исследования.

В 1613 году Гарвей был избран смотрителем Коллегии врачей, а два года спустя стал лектором Ламлианских чтений, учрежденных лордом Ламли с целью повышения уровня медицинского образования в Лондоне. На Ламлианских чтениях лектору полагалось читать часовую лекцию два раза в неделю в течение всего года, чтобы за шесть лет студенты прошли полный курс анатомии, хирургии и медицины. Гарвей исполнял эту обязанность в течение 41 года. Параллельно он читал лекции по анатомии в Коллегии; рукопись его заметок к лекциям от 16, 17 и 18 апреля 1616 года под названием «Конспекты к лекциям по общей анатомии» хранится в Британском музее.

Труд Гарвея «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных» был опубликован в 1628 году во Франкфурте. В нем ученый впервые сформулировал свою теорию кровообращения и привел экспериментальные доказательства в ее пользу. Измерив величину систолического объема, частоту сокращений сердца и общее количество крови в теле овцы, Гарвей доказал, что за 2 минуты вся кровь должна пройти через сердце, а в течение 30 минут через него проходит количество крови, равное весу животного. Отсюда следовало, что, вопреки

утверждениям Галена о поступлении к сердцу все новых и новых потоков крови от вырабатывающих ее органов, кровь возвращается к сердцу по замкнутому циклу. Замкнутость же цикла обеспечивают мельчайшие капилляры, соединяющие артерии и вены. Гарвеем сами капилляры при этом открыты не были, их существование установил позже Марчелло Мальпиги.

Открытие Гарвея было встречено шквалом критики ученых, придерживавшихся взглядов Аристотеля и Галена о том, что кровь образуется в печени из пищи и движется по венам, слепо заканчиваясь в органах. Тем не менее, открытие кровообращения Гарвеем многие ученые признали еще при его жизни.

В начале 1631 года Гарвей стал лейб-медиком короля Карла I. Заинтересовавшись исследованиями Гарвея, Карл предоставил в его распоряжение королевские охотничьи угодья в Виндзоре и Хэмптон-Корте для проведения экспериментов.

После сражения при Эджхилле в 1642 году во время Английской революции Гарвей последовал за королем в Оксфорд. Здесь он возобновил врачебную практику и продолжил наблюдения и эксперименты. Вскоре король назначил Гарвея деканом Мертон-колледжа, а когда Оксфорд был осажден и взят сторонниками Кромвеля, Гарвей вновь вернулся в Лондон.

В 1646 году Гарвей издал в Кембридже два анатомических очерка «Исследования кровообращения», а в 1651 году вышел его второй фундаментальный труд — «Исследования о зарождении животных». В нем обобщались результаты многолетних исследований ученого, касающихся эмбрионального развития беспозвоночных и позвоночных животных, была сформулирована теория эпигенеза. Гарвей утверждал, что яйцо есть общее первоначало всех животных и все живое происходит из яйца. Исследования Гарвея по эмбриологии послужили мощным стимулом к развитию теоретического и практического акушерства.

С 1654 года до своей кончины Гарвей жил в доме своего брата в Лондоне и в предместье Роуэмптон. Он доживал свой век, окруженный славой и почетом. Лондонская медицинская коллегия поставила в зале заседаний его статую, а в 1654 году избрала его своим президентом; но он отклонил это почетное звание, ссылаясь на старость и нездоровье.

Утром 30 июня 1657 года Уильям Гарвей заметил, что не владеет языком, и, чувствуя приближение смерти, послал за родными, раздал им на память свои вещи, а к вечеру того же дня скончался на 80-м году жизни.

В 1970 году имя Гарвея присвоено Международным астрономическим союзом одному из кратеров на обратной стороне Луны.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

- Маммадова С. О., Шюкурова Г. М.,
Султанова С. К., Курбанова Т. Р.,
Исмаилова С. Б.**
Фазовые равновесия, кристаллическая
структура и термоэлектрические свойства
соединений системы Tb-Bi-Te 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Гамов П. А.**
Методика формирования здоровых
привычек средствами игровой психологии
и наставнической поддержки в чат-ботах 4
- Климкин В. О.**
Адаптивная маршрутизация платёжных
транзакций на основе алгоритма Thompson
Sampling в микросервисной архитектуре 6
- Кондратенко А. С.**
Разработка программного модуля
интеллектуальной поддержки учащихся
на основе интеграции с большими
языковыми моделями 14
- Тихонова А. А.**
Многоагентная архитектура больших
языковых моделей для логико-смыслового
анализа текстовых протоколов совещаний 16
- Турулин А. О.**
Подходы к созданию цифровых двойников
для мониторинга и увеличения ресурса
главных редукторов 19
- Чубарь С. А.**
Поиск программного искажения движений
документов при производстве судебной
компьютерно-технической экспертизы
«1С:Предприятие» 22

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Бажин М. А.**
Интеллектуальная система управления
режимами микросети промышленного
предприятия при высокой интеграции
возобновляемых источников энергии 26

Неделин М. А.

- Сравнительный анализ методов
планирования пути мобильных роботов
в средах с динамическими препятствиями 30

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Афанасьева Д. И.

- Брендинг бизнес-центра как инструмент
развития малого моногорода на примере
г. Урая 36

Медведь Д. Д.

- Применение BIM-технологий
при реконструкции зданий 40

МЕДИЦИНА

Барыбина Е. С., Ковалева Д. А.

- Влияние терагерцевого излучения
на организм человека: механизмы,
биоэффекты и прикладное значение 45

Исмазова К. А., Бахронов М. Р.

- Клинико-этиологическая характеристика
хронического аденоидита у детей
от 2 до 10 лет 50

Раххал Хамза ТИ

- Современные методы ранней диагностики
внутриглазных опухолей в клинической
практике офтальмолога 51

Ряхов В. Н.

- Анализ суточных колебаний артериального
давления у студентов первого курса
в период экзаменационной сессии 54

Шевченко А. А., Вавринчук С. А..

Вавринчук А. С.

- Проблемы современной классификации
глубокой стерильной инфекции после
кардиохирургических операций 56

ХИМИЯ

Фазовые равновесия, кристаллическая структура и термоэлектрические свойства соединений системы Tb-Bi-Te

Маммадова Саадат Осман, научный сотрудник;
Шюкурова Гюнтакин Миралам, старший научный сотрудник;
Султанова Самина Кейс, научный сотрудник;
Курбанова Тарана Раджаб, научный сотрудник;
Исмаилова Севда Баба, научный сотрудник
Бакинский государственный университет (Азербайджан)

В данной работе проведено комплексное исследование фазовых равновесий, кристаллической структуры и термоэлектрических свойств в системе Tb-Bi-Te. Актуальность исследования обусловлена широким применением теллуридов висмута в качестве эффективных термоэлектрических материалов, а также возможностью модификации их свойств за счет введения редкоземельных элементов. Образцы синтезированы ампульным методом в вакууме при температурах до 1000 К. Фазовый состав и структура изучены методами рентгенофазового и дифференциального термического анализа. Установлено образование твердых растворов на основе Bi_2Te_3 и промежуточных фаз. Показано, что легирование тербием приводит к изменению параметров решетки и улучшению термоэлектрических характеристик. Полученные результаты представляют интерес для разработки новых функциональных материалов.

Ключевые слова: Tb-Bi-Te, фазовые равновесия, термоэлектрические материалы, теллуриды, редкоземельные элементы, полупроводники

Phase Equilibria, Crystal Structure, and Thermoelectric Properties of Compounds in the Tb-Bi-Te System

In this work, a comprehensive study of the phase equilibria, crystal structure, and thermoelectric properties of the Tb-Bi-Te system was carried out. The relevance of this research is determined by the widespread use of bismuth tellurides as efficient thermoelectric materials, as well as the possibility of modifying their properties through the incorporation of rare-earth elements. The samples were synthesized by the ampoule method under vacuum at temperatures up to 1000 K. The phase composition and structure were investigated using X-ray diffraction and differential thermal analysis. The formation of solid solutions based on Bi_2Te_3 and intermediate phases was established. It was shown that doping with terbium leads to changes in the lattice parameters and enhances the thermoelectric characteristics. The obtained results are of interest for the development of new functional materials.

Keywords: Tb-Bi-Te, phase equilibria, thermoelectric materials, tellurides, rare-earth elements, semiconductors

Введение

Современные исследования в области функциональных материалов направлены на создание эффективных термоэлектрических систем, способных обеспечивать прямое преобразование тепловой энергии в электрическую [1–3]. Наиболее перспективными среди них являются соединения на основе теллурида висмута, характеризующиеся высокой термоэлектрической добротностью вблизи комнатной температуры [4, 5].

Одним из подходов к улучшению свойств данных материалов является легирование редкоземельными эле-

ментами, что позволяет регулировать концентрацию носителей заряда, изменять фононную теплопроводность и влиять на дефектную структуру [6–8]. Введение тербия представляет особый интерес, поскольку он может участвовать в формировании сложных фаз и влиять на электронную структуру соединений.

Несмотря на значительное количество исследований бинарных систем Bi-Te и Tb-Te, тройная система Tb-Bi-Te изучена недостаточно полно. Отсутствие систематических данных о фазовых равновесиях и свойствах ограничивает возможности практического применения этих материалов.

В связи с этим целью настоящей работы является установление закономерностей фазообразования, изучение кристаллической структуры и оценка термоэлектрических свойств соединений системы Tb-Bi-Te.

Экспериментальная часть

Синтез образцов проводился методом твердофазной реакции с использованием высокочистых элементов: Tb (99,9 %), Bi (99,999 %) и Te (99,999 %). Исходные компоненты взвешивались в заданных стехиометрических соотношениях с точностью до $\pm 0,001$ г.

Полученные смеси помещались в кварцевые ампулы, которые вакуумировались до остаточного давления порядка 10^{-3} Па и герметично запаивались. Термическая обработка проводилась в печи с программируемым режимом нагрева: образцы выдерживались при температуре 950–1000 К в течение 24–48 часов для обеспечения гомогенизации, после чего охлаждались со скоростью 50 К/ч до 500 К и далее до комнатной температуры.

Фазовый анализ выполнялся методом рентгеновской дифракции (XRD) с использованием CuK α -излучения. Идентификация фаз проводилась с применением баз данных PDF-2. Термические эффекты исследовались методом дифференциального термического анализа (DTA) в диапазоне температур 300–1100 К.

Микроструктура изучалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM). Электрическая проводимость и коэффициент Зеебека измерялись стандартными методами в диапазоне температур 300–600 К.

Результаты и обсуждение

Анализ рентгенограмм показал, что в системе Tb-Bi-Te формируются твердые растворы на основе фазы Bi₂Te₃, а также ряд промежуточных соединений. При малых концентрациях Tb наблюдается его растворение в кристаллической решетке Bi₂Te₃ с незначительным изменением параметров элементарной ячейки.

С увеличением содержания Tb фиксируется появление дополнительных фаз, что указывает на ограниченную растворимость и образование многофазных областей. Изменение параметров решетки свидетельствует о частичном замещении атомов Bi атомами Tb, что приводит к возникновению локальных искажений структуры.

Результаты дифференциального термического анализа выявили наличие эндотермических и экзотермических эффектов, соответствующих фазовым переходам и реакциям взаимодействия компонентов. Температуры этих эффектов хорошо согласуются с данными для аналогичных систем [9–11].

Исследование микроструктуры показало неоднородное распределение фаз в образцах с высоким содержанием Tb. Образование мелкодисперсных включений способствует рассеянию фононов, что может приводить к снижению теплопроводности.

Измерения электропроводности показали полупроводниковый характер поведения всех образцов. При увеличении концентрации Tb наблюдается уменьшение электропроводности, что связано с увеличением концентрации дефектов и снижением подвижности носителей заряда. [12–15].

Коэффициент Зеебека во всех случаях имеет положительное значение, что свидетельствует о дырочном типе проводимости. При этом добавление Tb приводит к увеличению величины коэффициента Зеебека, что является благоприятным фактором для повышения термоэлектрической эффективности.

Таким образом, можно заключить, что легирование тербием оказывает комплексное влияние на структуру и свойства системы Tb-Bi-Te, позволяя оптимизировать её параметры для практического применения.

Заключение

В результате проведенного исследования установлены основные закономерности фазообразования в системе Tb-Bi-Te. Выявлены области существования твердых растворов и промежуточных фаз.

Показано, что введение Tb приводит к изменению кристаллической структуры, формированию дефектов и существенному влиянию на электрофизические характеристики материалов. Установлено увеличение коэффициента Зеебека при легировании, что подтверждает перспективность данной системы для термоэлектрических применений.

Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований и разработки новых высокоэффективных материалов.

Литература:

1. Goldsmid H. J. Introduction to Thermoelectricity // Springer, 2010.
2. Rowe D. M. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano // CRC Press, 2006.
3. Snyder G. J., Toberer E. S. Complex thermoelectric materials // Nat. Mater., 2008. Vol. 7, pp. 105–114. DOI:10.1038/nmat2090
4. Poudel B., Hao Q., Ma Y., et al. High thermoelectric performance of nanostructured Bi₂Te₃ // Science, 2008. Vol. 320, pp. 634–638. DOI:10.1126/science.1156446
5. Heremans J. P., Jovovic V., Toberer E. S., et al. Enhancement of thermoelectric efficiency in PbTe by distortion of the electronic density of states // Science, 2008. Vol. 321, pp. 554–557. DOI:10.1126/science.1159725

6. Aliyev Kazim Aziz, Mammadova Saadat Osman. Study of the Tb–Sb–Se ternary system and preparation of alloys based on it // Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference Berlin, Germany 26–28 January 2026
7. Zhao L. D., Lo S. H., Zhang Y., et al. Ultralow thermal conductivity and high thermoelectric figure of merit in SnSe crystals // *Nature*, 2014. Vol. 508, pp. 373–377. DOI:10.1038/nature13184
8. Tritt T. M. Thermoelectric phenomena, materials, and applications // *Annu. Rev. Mater. Res.*, 2011. Vol. 41, pp. 433–448.
9. Маммадова Саадат Осман, Алиев Казим Азиз, Султанова Айтен Низами, Фазовые равновесия и термодинамические особенности системы ZnTe–Gd₂Te₃// *Международный Научно-Практический Журнал Endless Light In Science* Endless Light In Science. No 2. 28 Февраля 2026 Астана, Казахстан.
10. Mahan G. D. Good thermoelectrics // *Solid State Phys.*, 1998. Vol. 51, pp. 81–157.
11. Dresselhaus M. S., Chen G., Tang M. Y., et al. New directions for lowdimensional thermoelectric materials // *Adv. Mater.*, 2007. Vol. 19, pp. 1043–1053. DOI:10.1002/adma.200600527
12. Sootsman J. R., Chung D. Y., Kanatzidis M. G. New and old concepts in thermoelectric materials // *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2009. Vol. 48, pp. 8616–8639. DOI:10.1002/anie.200900598
13. Pei Y., LaLonde A., Iwanaga S., Snyder G. J. Convergence of electronic bands for high performance bulk thermoelectrics // *Nature*, 2011. Vol. 473, pp. 66–69. DOI:10.1038/nature09996
14. Tan G., Shi F., Hao S., et al. Nonequilibrium processing and enhanced thermoelectric performance of ptype halfHeuslers // *Chem. Rev.*, 2016. Vol. 116, pp. 12110–12153. DOI: 10.1021/acs.chemrev.6b00339
15. He J., Girard S. N., Dravid V. P., Kanatzidis M. G. Advances in thermoelectric materials research: Looking back and moving forward // *Adv. Funct. Mater.*, 2017. Vol. 27, 1702266. DOI:10.1002/adfm.201702266

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методика формирования здоровых привычек средствами игровой психологии и наставнической поддержки в чат-ботах

Гамов Павел Антонович, студент магистратуры
Российский университет транспорта (МИИТ) (г. Москва)

В статье представлена авторская методика формирования здоровых привычек для молодых людей в возрасте до 30 лет, разработанная для применения в условиях цифровизации повседневной жизни. Методика основана на синергетическом сочетании инструментов геймификации и механизмов наставнической поддержки. Представлено обоснование для последующей реализации данной методики в формате чат-бота. Описаны ключевые элементы методики, ее отличия от аналогов и теоретически обоснованные ожидаемые эффекты от внедрения.

Ключевые слова: интернет-приложения, геймификация, формирование здоровых привычек, игровая психология, наставническая поддержка, мотивация и привычки, поведенческие изменения, геймификация в здоровье, автоматизация поддержки.

A method for developing healthy habits using game psychology and mentoring support in chatbots

This article presents a proprietary methodology for developing healthy habits for young people under 30, developed for use in the context of digitalization of everyday life. The methodology is based on a synergistic combination of gamification tools and mentoring mechanisms. A rationale for the subsequent implementation of this methodology in a chatbot format is presented. Key elements of the methodology, its differences from similar approaches, and theoretically substantiated expected impacts of implementation are described.

Keywords: internet applications, gamification, healthy habit formation, game psychology, mentoring support, motivation and habits, behavioral change, gamification in health, support automation.

Цифровизация оказывает неоднозначное влияние на образ жизни, способствуя снижению физической активности и росту стресса. Существующие цифровые решения (трекеры привычек, фитнес-приложения) часто носят коммерческий характер и обладают ограниченной эффективностью из-за поверхностной геймификации, отсутствия глубинной персонализации и экспертной поддержки. Возникает потребность в комплексных методиках, использующих преимущества цифровых технологий для формирования устойчивого здорового поведения. [1]

Актуальность данной публикации определяется необходимостью разработки комплексной методики, которая бы объединила два ранее не сочетавшихся подхода: инструменты геймификации для повышения вовлечённости пользователя и механизмы наставнической поддержки через анонимные чаты для получения профессиональной консультации. Реализация данной методики в формате чат-бота обеспечивает максимальную доступность

и удобство использования для целевой аудитории — молодых людей в возрасте до 30 лет.

Разработанная методика представляет собой последовательную систему действий, направленную на формирование целевой привычки через прохождение пользователем ряда этапов: постановка цели, выполнение регулярных действий, получение обратной связи и рефлексия. Методика реализуется в цифровой среде посредством чат-бота и опирается на две взаимодополняющие парадигмы: глубокую геймификацию и анонимное наставничество.

Парадигма I — Геймификация. Инструменты игровой психологии направлены на повышение вовлечённости пользователя, формирование устойчивой внутренней мотивации и обеспечение регулярной обратной связи. Геймификация повышает шансы успешного приобретения новой полезной привычки или отказа от вредной за счёт преобразования рутинных действий в игровой процесс.

Парадигма II — Наставническая поддержка. Инструменты наставнической поддержки обеспечивают возможность получения быстрой и профессиональной консультации через анонимные чаты, привязанные к конкретным программам. Данный компонент компенсирует ограничения автоматизированных систем, предоставляя человеческий элемент поддержки и экспертизы.

Геймификационный компонент методики структурирован вокруг четырех ключевых элементов:

- Система уровней и достижений, построенная на принципе переменного подкрепления. Пользователь прогрессирует от простых к сложным задачам, получая визуальные знаки отличия (бейджи), что создает ощущение роста и мастерства.
- Виртуальная валюта (опыт), начисляемая за выполнение действий и активность в чатах. Накопленные ресурсы позволяют «прокачивать» виртуального аватара, визуализируя прогресс в количественном выражении.
- Личный кабинет с витриной достижений, выполняющий функции дневника успеха и инструмента рефлексии. В нем отображается вся история активности, текущий уровень и коллекция полученных наград.
- Динамическая система обратной связи в виде мотивационных сообщений и напоминаний, адаптированных к текущему контексту и прогрессу пользователя.

Компонент наставнической поддержки реализуется через сеть анонимных чатов, привязанных к конкретным программам привычек. Пользователь получает возможность в любой момент обратиться за консультацией к верифицированному наставнику-эксперту. Ключевыми принципами данного компонента являются: контекстная связанность запроса, гарантированная анонимность для снижения психологических барьеров и минимальное время ожидания ответа для сохранения вовлеченности.

Технологической основой методики выступает чат-бот, интегрируемый в популярные мессенджеры. Данный выбор обеспечивает кроссплатформенность, низкий порог

вхождения для целевой аудитории (молодежь до 30 лет) и естественность интерфейса, основанного на диалоге.

Ключевые отличия от существующих аналогов Предложенная методика обладает рядом существенных отличий, определяющих ее новизну:

- Комплексная интеграция парадигм. В отличие от большинства существующих решений, которые используют либо геймификацию (Habitica, Streaks), либо платный коучинг (Noom), данная методика синтезирует оба подхода в единый механизм, где они усиливают друг друга.
 - Контекстное и анонимное наставничество. В отличие от коучинг-платформ, где общение с экспертом часто требует предварительной записи и раскрытия личности, поддержка в рамках методики интегрирована непосредственно в процесс формирования привычки, оперативна и анонимна.
 - Глубокая, а не поверхностная геймификация. Методика реализует не просто систему бейджей и рейтингов, а комплексную модель игровой динамики, основанную на теориях мотивации (Б.Дж. Фогг) и подкрепления, что способствует формированию устойчивой внутренней мотивации.
 - Доступность и открытость. Реализация в формате чат-бота и возможность его открытой доработки выгодно отличает методику от закрытых коммерческих продуктов, делая ее более доступной и адаптируемой.
 - Решение с открытым исходным кодом позволяет дорабатывать его под личные нужды пользователей и организаций. Предусмотрена возможность разворачивания контура приложения на личных серверах в случае, если пользователь не доверяет официальному релизу решения на основном сервере;
 - Решение поставляется как готовый для интеграции модуль, который может быть встроен в уже существующее решение для схожих нужд человека или компании.
- Ожидаемыми эффектами от реализации описанной методики будут являться:

Таблица 1. Сравнение существующих аналогов с предлагаемой методикой

Признак	Существующие аналоги (Habitica, Noom, MyFitnessPal)	Предлагаемая методика
Интеграция подходов	Используют либо геймификацию, либо наставничество.	Синергетическая интеграция геймификации и наставничества в едином контуре.
Глубина геймификации	Часто поверхностная (бейджи, рейтинги).	Глубокая геймификация , основанная на моделях поведения (Фогг, Духар) и принципах переменного подкрепления.
Поддержка	Отсутствует, платная или отложенная по времени.	Анонимная, мгновенная, контекстная поддержка от верифицированных экспертов.
Формат	Нативные приложения (требуют установки).	Чат-бот в мессенджерах , не требующий установки, с максимальной доступностью.
Персонализация	Ограниченная, на основе вводных данных.	Непрерывная адаптация на основе прогресса и обратной связи от пользователя и наставника.
Модель	Коммерческая, закрытая.	Открытый исходный код , возможность самостоятельного хостинга и доработки.

– Повышение эффективности формирования привычек и уровня вовлеченности и приверженности пользователя к программе формирования привычки. За счет синергии игровых механизмов и человеческой поддержки в совокупности с постоянным положительным подкреплением и ощущением игрового прогресса ожидается увеличение конверсии выполнения программ на 25–40 % по сравнению с решениями, использующими только один из подходов.

– Повышение лояльности пользователя: Снижение показателя оттока на 15–20 % благодаря постоянному ощущению поддержки и персонализированному опыту, а также благодаря анонимному и оперативному доступу к профессиональной поддержке в моменты кризиса мотивации, что является критически важным для долгосрочных изменений.

– Повышение эффективности формирования привычки за счет синергетического эффекта: геймификация создает и поддерживает регулярность действий, а наставничество помогает преодолевать индивидуальные препятствия и адаптировать программу под личные особенности.

– Методический вклад в теорию поведенческих изменений: Практическая апробация методики позволит ве-

рифицировать теоретическую модель о синергетическом эффекте сочетания геймификации и наставничества в цифровой среде.

Заключение

Предложенная методика вносит вклад в развитие теории и практики формирования здоровых привычек, демонстрируя перспективность комплексного подхода, объединяющего достижения игровой психологии, наставнического взаимодействия и современных цифровых технологий. Таким образом, авторская методика представляет собой комплексный подход к формированию здоровых привычек, структурно объединяющий теоретически обоснованные элементы геймификации и наставничества. Ее ключевые отличия от существующих аналогов заключаются в глубокой интеграции двух парадигм, реализации в формате чат-бота и ориентации на открытость и персонализацию. Ожидается, что внедрение методики позволит получить значимые научно-практические результаты, повышающие эффективность применения цифровых инструментов для укрепления здоровья молодых людей в возрасте до 30 лет.

Литература:

1. Всемирная организация здравоохранения. Физическая активность и здоровье // WHO Report, 2023.
2. Fogg, B. J. *Tiny Habits: The Small Changes That Change Everything*. — Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2019. — 320 p.
3. Duhigg, C. *The Power of Habit: Why We Do What We Do in Life and Business*. — New York: Random House, 2012. — 371 p.
4. Johnson, D., Deterding, S., Kuhn, K.-A. et al. Gamification for health and wellbeing: A systematic review of the literature // *Internet Interventions*. — 2016. — Vol. 6. — P. 89–106.
5. Hogan, B. E., Linden, W., Najarian, B. Social support interventions: Do they work? // *Clinical Psychology Review*. — 2002. — Vol. 22, No. 3. — P. 381–440.
6. Barak, A., Gluck-Ofri, O. Degree and reciprocity of self-disclosure in online forums // *CyberPsychology & Behavior*. — 2007. — Vol. 10, No. 3. — P. 407–417.

Адаптивная маршрутизация платёжных транзакций на основе алгоритма Thompson Sampling в микросервисной архитектуре

Климкин Владимир Олегович, студент
МИРЭА — Российский технологический университет (г. Москва)

В статье рассматривается задача автоматического выбора оптимального платёжного провайдера в системе агрегации платежей. Задача формализована как задача многорукого бандита (Multi-Armed Bandit). Предложен метод адаптивной маршрутизации на основе алгоритма Thompson Sampling с мультикритериальной функцией оценки, учитывающей вероятность успешного проведения транзакции, латентность и стоимость обработки. Описана архитектура микросервисной платформы, в рамках которой реализован предложенный метод. Показано, что применение алгоритма Thompson Sampling обеспечивает автоматический баланс между эксплуатацией провайдера с лучшими показателями и исследованием альтернативных провайдеров для актуализации статистики. Экспериментальная оценка методом симуляции подтверждает превосходство предложенного подхода над альтернативными методами маршрутизации по показателям успешности транзакций и накопленного сожаления.

Ключевые слова: платёжный шлюз, маршрутизация транзакций, многорукий бандит, Thompson Sampling, микросервисная архитектура, адаптивная маршрутизация, агрегатор платежей.

Adaptive payment transaction routing based on Thompson Sampling algorithm in microservice architecture

The paper addresses the problem of automatic selection of an optimal payment provider in a payment aggregation system. The problem is formalized as a Multi-Armed Bandit problem. An adaptive routing method based on the Thompson Sampling algorithm with a multi-criteria scoring function is proposed, taking into account the probability of successful transaction processing, latency, and processing cost. The architecture of a microservice platform implementing the proposed method is described. It is shown that the application of the Thompson Sampling algorithm provides an automatic balance between exploitation of the provider with the best performance and exploration of alternative providers to update statistics. An experimental simulation evaluation confirms the superiority of the proposed approach over alternative routing methods in terms of transaction success and accumulated regret.

Keywords: payment gateway, transaction routing, multi-armed bandit, Thompson Sampling, microservice architecture, adaptive routing, payment aggregator.

Введение

Компании электронной коммерции вынуждены поддерживать интеграции с множественными платёжными провайдерами для обеспечения приемлемого уровня конверсии платежей и географического охвата аудитории [1]. Эволюция архитектур платёжных шлюзов рассмотрена в [5]. При использовании нескольких провайдеров возникает задача маршрутизации: для каждой входящей транзакции необходимо выбрать провайдера, который с наибольшей вероятностью успешно её обработает при минимальных затратах и задержке.

Статическая маршрутизация на основе фиксированных правил (например, распределение по типу карты или географическому признаку) не учитывает динамическое изменение характеристик провайдеров: показатель успешности (success rate), время отклика и доступность провайдера могут существенно варьироваться во времени [2]. Ручная корректировка правил маршрутизации требует постоянного мониторинга и не обеспечивает оперативного реагирования на деградацию провайдера.

В настоящей работе задача выбора оптимального провайдера формализована как задача многорукого бандита (Multi-Armed Bandit, MAB) [3] и предложен метод адаптивной маршрутизации на основе алгоритма Thompson Sampling с мультикритериальной функцией оценки.

1. Формализация задачи

Пусть имеется множество платёжных провайдеров $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$. На каждом временном шаге t система получает транзакцию и должна выбрать провайдера $p_i \in P$ для её обработки. После обработки наблюдается результат: успех ($r = 1$) или неудача ($r = 0$).

Задача состоит в максимизации суммарного числа успешных транзакций за период T :

$$R(T) = \max \sum_{t=1}^T r_t \quad (1)$$

где $r_t \in \{0, 1\}$ — результат транзакции на шаге t (1 — успех, 0 — неудача).

Данная постановка соответствует классической задаче многорукого бандита [3], где каждый провайдер аналогичен «руке» автомата с неизвестной вероятностью выигрыша. Ключевой проблемой является дилемма «исследование — эксплуатация»: необходимо балансировать между выбором провайдера с наилучшей текущей статистикой (эксплуатация) и проверкой альтернативных провайдеров для актуализации информации об их характеристиках (исследование).

В отличие от классической постановки, в задаче маршрутизации платежей вероятности успеха провайдеров не являются стационарными: они могут изменяться вследствие технических сбоев, изменения правил антифрод-систем провайдера или перегрузки. Это требует применения алгоритма, способного адаптироваться к изменяющимся условиям.

Платёжные провайдеры различаются по паттерну доставки результата транзакции. Провайдеры первого класса возвращают окончательный статус синхронно в HTTP-ответе — это характерно для большинства карточных эквайеров. Провайдеры второго класса подтверждают приём запроса немедленно, а окончательный статус доставляют асинхронно через механизм webhook.

Предложенный алгоритм в базовой конфигурации ориентирован на провайдеров первого класса, для которых выполняется допущение о немедленной обратной связи. Для провайдеров второго класса задержка между принятием решения и получением r нарушает данное допущение: за период ожидания webhook алгоритм продолжает маршрути-

зацию без учёта актуального статуса провайдера. Частичной компенсацией служит механизм Circuit Breaker, который реагирует на накопленные ошибки таймаутов. Полноценная обработка отложенной обратной связи рассматривается как направление дальнейших исследований.

Характеристики транзакции (валюта, тип платёжного метода) учитываются на этапе жёсткой фильтрации множества кандидатов, что позволяет применить базовую МАВ-постановку без усложнения до контекстуального бандита при сохранении практической применимости метода.

2. Алгоритм Thompson Sampling

Алгоритм Thompson Sampling [4] — байесовский подход к решению задачи многорукого бандита. Для каждого провайдера p_i поддерживается модель вероятности успеха в виде бета-распределения:

$$\theta_i \sim \text{Beta}(a_i, b_i) \quad (2)$$

где $a_i, b_i > 0$ — параметры бета-распределения, инициализируемые значениями $a_i = 1, b_i = 1$ (априорное распределение $\text{Beta}(1,1)$).

Процедура выбора провайдера на шаге t :

1) Для каждого провайдера p_i сгенерировать случайный сэмпл θ_i из распределения $\text{Beta}(a_i, b_i)$.
2) Для каждого провайдера вычислить $\text{score}(p_i)$ по формуле (7), используя сэмпл θ_i . Выбрать провайдера с максимальным score .

3) Направить транзакцию выбранному провайдеру, наблюдать результат.

4) Обновить параметры выбранного провайдера с учетом результата и коэффициента затухания γ .

Математическое ожидание бета-распределения:

$$E[\theta_i] = \frac{a_i}{a_i + b_i} \quad (3)$$

представляет собой оценку вероятности успеха, взвешенную по времени. Дисперсия характеризует неопределенность оценки и убывает с ростом числа наблюдений:

$$D = \frac{a_i * b_i}{(a_i + b_i)^2 * (a_i + b_i + 1)} \quad (4)$$

Таким образом, провайдер с малым числом обработанных транзакций имеет широкое распределение, и его сэмпл может оказаться выше, чем у провайдера с лучшей, но точно известной статистикой. Это обеспечивает естественный механизм исследования без явного параметра (в отличие от алгоритма ϵ -greedy).

После каждой транзакции исторические параметры обновляются с учетом результата $r \in \{0,1\}$ по следующим правилам:

$$a_i \leftarrow \max(1, \gamma * a_i + r) \quad (5)$$

$$b_i \leftarrow \max(1, \gamma * b_i + (1 - r)) \quad (6)$$

где $\gamma \in (0,1)$ — коэффициент затухания (в экспериментах $\gamma = 0.99$). Коэффициент затухания γ определяет эффективное окно памяти алгоритма. Значение $\gamma = 0.99$ соответствует эффективному объему выборки порядка 100 наблюдений. Выбор γ является компромиссом между скоростью адаптации к изменениям и устойчивостью к стохастическому шуму. В условиях высокой нагрузки (high RPS) для сохранения достаточного временного окна реагирования может потребоваться увеличение γ или использование адаптивной схемы настройки коэффициента в зависимости от интенсивности трафика провайдера.

Применение ограничения $\max(1, \dots)$ гарантирует, что параметры не опускаются ниже априорных значений (1, 1), сохраняя математическую корректность бета-распределения. Данный подход (Discounted TS) обеспечивает вычислительную сложность $O(1)$ по времени и памяти, избавляя от необходимости хранить массивы исторических транзакций, что критически важно для обеспечения высокой пропускной способности микросервиса маршрутизации.

3. Мультикритериальная функция оценки

Вероятность успеха является основным, но не единственным критерием выбора провайдера. Мерчант заинтересован также в минимизации стоимости обработки (комиссия провайдера) и времени отклика (латентность). Предлагается мультикритериальная функция оценки:

$$\text{score}(p_i) = w_1 * \theta_i + w_2 * \max\left(0, 1 - \frac{L_{p95,i}}{L_{SLA}}\right) + w_3 * \max\left(0, 1 - \frac{C_i}{C_{config}}\right) \quad (7)$$

где:

— θ_i — сэмпл из $\text{Beta}(a_i, b_i)$ (стохастическая оценка вероятности успеха);

— $Lp95,i$ — 95-й процентиль латентности провайдера p_i ($p95$) за наблюдаемый период; поскольку в микросервисных архитектурах сетевые задержки имеют распределение с «тяжёлыми хвостами», использование среднего арифметического неэффективно — $p95$ обеспечивает объективную оценку производительности провайдера для подавляющего большинства транзакций;

- $LSLA$ — максимально допустимая задержка по бизнес-требованиям (SLA);
- C_i — стоимость обработки транзакции провайдером p_i ;
- $Cconfig$ — максимально допустимая комиссия, установленная мерчантом;
- w_1, w_2, w_3 — весовые коэффициенты, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$.

Следует отметить, что добавление детерминированных компонентов в $scoring$ -функцию представляет собой отклонение от классической постановки Thompson Sampling, для которой доказаны теоретические гарантии сожаления. Предложенный метод является эвристическим расширением, сохраняющим стохастический механизм исследования через компонент θ_i . Анализ теоретических гарантий для мультикритериального случая выходит за рамки настоящей работы.

В зависимости от бизнес-приоритетов мерчанта предлагаются следующие конфигурации весовых коэффициентов (таблица 1).

Таблица 1. Бизнес-профили весовых коэффициентов

Профиль	Описание	w_1	w_2	w_3
Conversion-first	Приоритет успешности	0.70	0.20	0.10
Balanced (по умолчанию)	Сбалансированный	0.60	0.25	0.15
Cost-sensitive	Приоритет стоимости	0.50	0.15	0.35

Стохастический компонент θ_i (сэмпл из бета-распределения) обеспечивает механизм исследования, тогда как латентность и стоимость являются детерминированными наблюдаемыми величинами, не требующими вероятностного моделирования.

Перед вычислением $scoring$ -функции выполняется фильтрация: из множества P исключаются провайдеры, не удовлетворяющие обязательным ограничениям:

- провайдер не поддерживает валюту транзакции;
- провайдер не поддерживает тип платёжного метода;
- Circuit Breaker провайдера находится в состоянии Open (провайдер недоступен).

4. Архитектура решения

Предложенный алгоритм реализуется в составе микросервисной платформы агрегации платёжных провайдеров. Архитектура системы включает четыре микросервиса:

- API Gateway — единая точка входа, аутентификация и ограничение частоты запросов;
- Transaction Service — управление жизненным циклом транзакций, обеспечение идемпотентности;
- Provider Service — взаимодействие с провайдерами, модуль маршрутизации (Thompson Sampling), механизм Circuit Breaker;
- Risk Service — оценка рисков на основе конфигурируемого движка правил.

Взаимодействие между сервисами осуществляется асинхронно через брокер сообщений NATS JetStream в соответствии с паттерном Saga (Choreography) [2].

Модуль маршрутизации расположен в Provider Service, что обеспечивает доступ к актуальной статистике взаимодействия с каждым провайдером. Параметры бета-распределения (a_i, b_i) хранятся в Redis. Для оценки латентности используется потоковый алгоритм аппроксимации процентилей t -digest, который позволяет вычислять $Lp95$ с высокой точностью при фиксированном и малом потреблении памяти, что критично для высокой пропускной способности сервиса. Обновление статистики происходит после каждой обработанной транзакции.

Механизмы Circuit Breaker [2] и Thompson Sampling тесно интегрированы. При переходе провайдера из состояния Open в состояние Half-Open выполняется частичный сброс параметров бета-распределения:

$$\alpha_i \leftarrow \max(1, \alpha_i \cdot \rho), \beta_i \leftarrow \max(1, \beta_i \cdot \rho) \quad (8)$$

где $\rho = 0.1$ — коэффициент сброса. Данный подход математически обоснован: математическое ожидание бета-распределения $E[\theta_i] = a_i / (a_i + b_i)$ сохраняется после умножения обоих параметров на одинаковый коэффициент, тогда как дисперсия возрастает — алгоритм «помнит» историческую репутацию провайдера, но становится менее уверенным в его текущих характеристиках. Это стимулирует активное исследование восстановленного провайдера без полной потери накопленной статистики.

5. Сравнение с альтернативными подходами

В таблице 2 приведено сравнение предложенного метода с альтернативными подходами к маршрутизации.

Таблица 2. Сравнение методов маршрутизации

Критерий	Статические правила	Weighted scoring (EMA)	ϵ -Greedy	Thompson Sampling
Адаптивность	Нет	Частичная	Частичная	Полная
Баланс exploration / exploitation	Нет	Нет	Фиксированный (ϵ)	Автоматический
Учёт неопределённости	Нет	Нет	Нет	Да (бета-распределение)
Настраиваемые параметры	Правила	Коэффициент сглаживания α	Параметр ϵ	Размер окна W
Математическое обоснование	Нет	Среднее взвешенное	Теорема о regret	Байесовская оптимальность

Алгоритм Thompson Sampling обладает рядом преимуществ: автоматический баланс между исследованием и эксплуатацией без явного параметра ϵ , учёт неопределённости оценки (провайдер с малым числом наблюдений получает больше шансов на исследование), байесовская оптимальность в стационарном случае [4].

6. Экспериментальная оценка

Для оценки эффективности предложенного метода проведена симуляция на синтетических данных. Моделировалась среда из четырёх платёжных провайдеров с характеристиками, приведёнными в таблице 3. Каждый метод запускался на $T = 10\,000$ транзакций, результаты усреднялись по 30 независимым запускам с различными начальными значениями генератора псевдослучайных чисел.

Таблица 3. Характеристики провайдеров в симуляции

Провайдер	P(success)	Латентность (мс)	Комиссия (%)
P1	0.88	120	1.8
P2	0.85	80	1.2
P3	0.83	60	0.9
P4	0.79	200	2.1

Сравнивались следующие методы: Thompson Sampling (предложенный), Greedy, ϵ -Greedy ($\epsilon = 0.1$), Round-Robin, Random. Оценивались: success rate, средний score, накопленный regret за T шагов.

Таблица 4. Результаты симуляции ($T = 10\,000$, $N = 30$ запусков)

Метод	SR стац.	SR до деград.	SR после деград.	Regret стац.	Regret деград.
Thompson Sampling	84.21 %	84.16 %	83.16 %	365.77	279.87
Greedy	83.70 %	83.73 %	81.50 %	433.34	393.34
ϵ -Greedy ($\epsilon=0.1$)	83.45 %	83.48 %	82.57 %	453.03	345.04
Round-Robin	83.78 %	83.82 %	75.50 %	425.00	687.50
Random	83.85 %	83.94 %	75.64 %	425.68	687.31

Thompson Sampling демонстрирует наименьший cumulative regret (365.77) среди всех сравниваемых методов, что свидетельствует о наиболее эффективном балансе между исследованием и эксплуатацией. Разница в success rate между методами невелика (83.45–84.21 %), что объясняется близостью характеристик провайдеров: при малой разнице между вероятностями успеха любой метод достигает сопоставимого success rate, однако по критерию regret преимущество Thompson Sampling сохраняется устойчиво.

Динамика cumulative success rate и cumulative regret по шагам симуляции представлена на рисунках 1 и 2 соответственно.

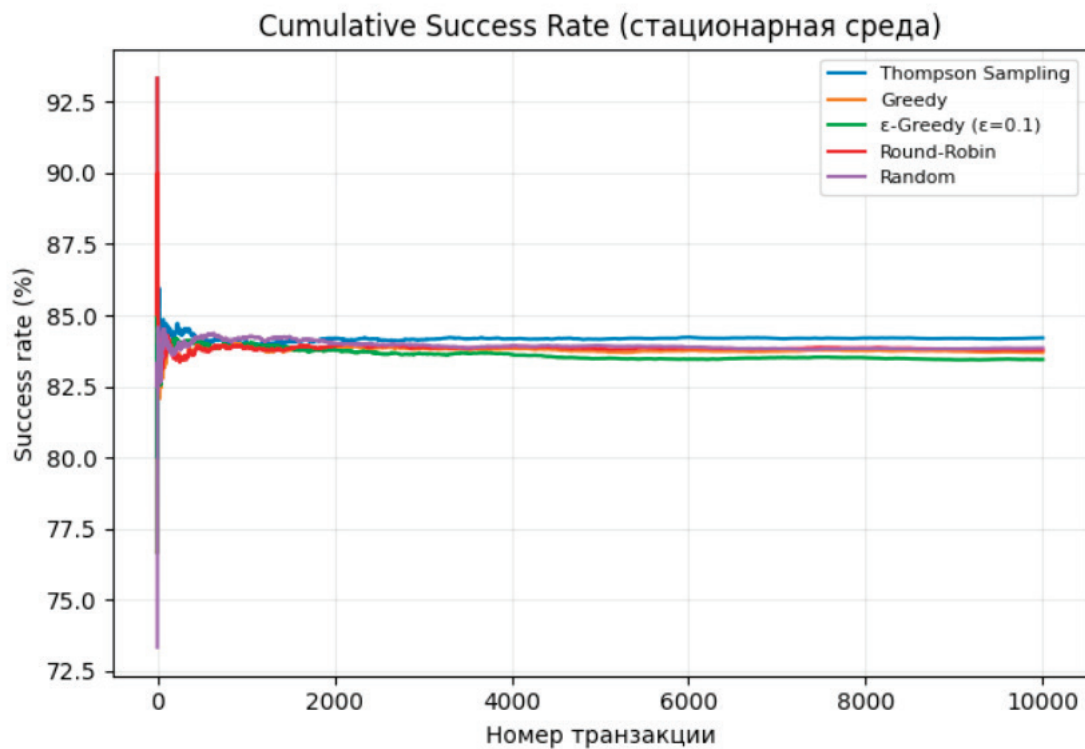


Рис. 1. Совокупный показатель успеха

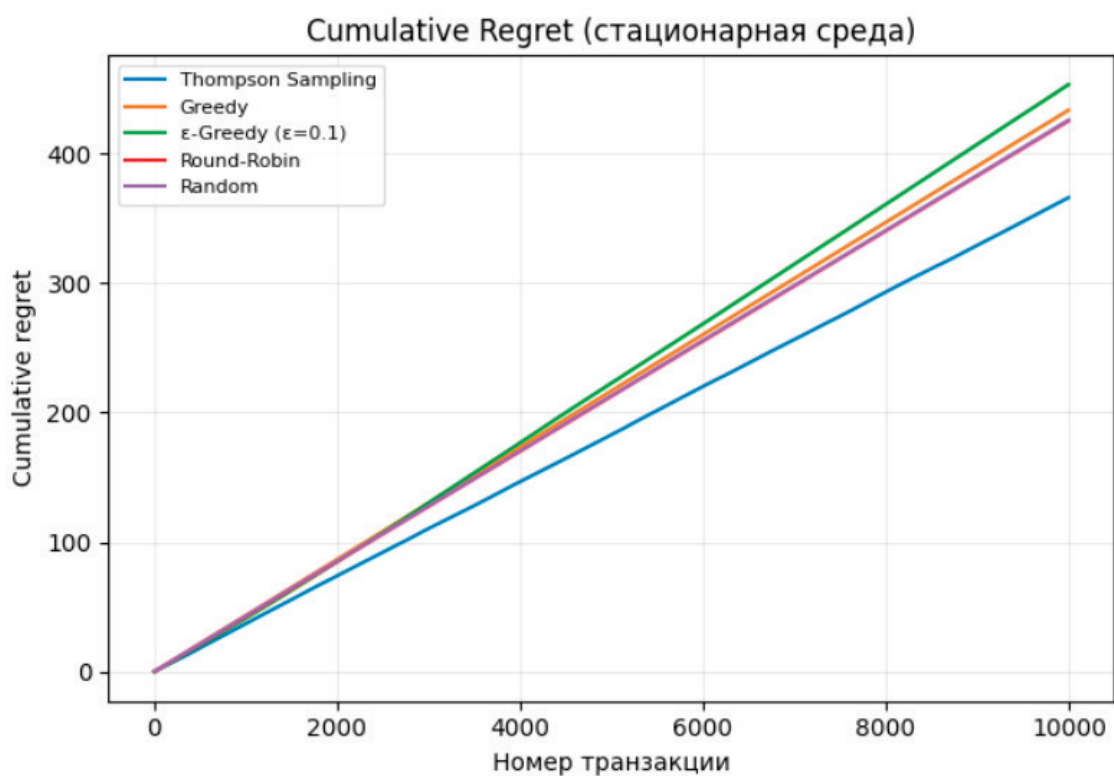


Рис. 2. Совокупное сожаление

Для проверки адаптивности в нестационарных условиях на шаге $t = 5000$ вероятность успеха провайдера P1 была снижена с 0.88 до 0.55, моделируя деградацию провайдера. Результаты приведены на рисунке 3.

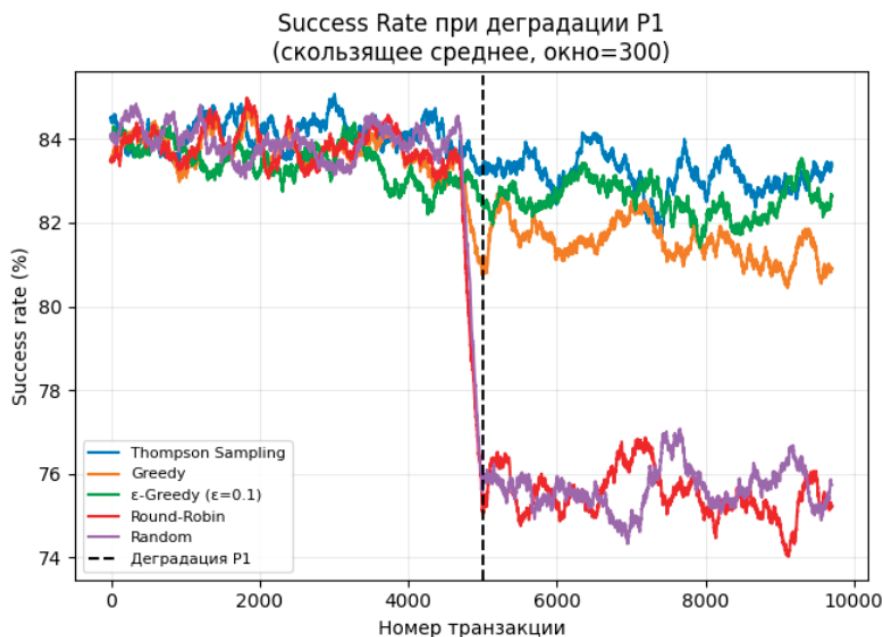
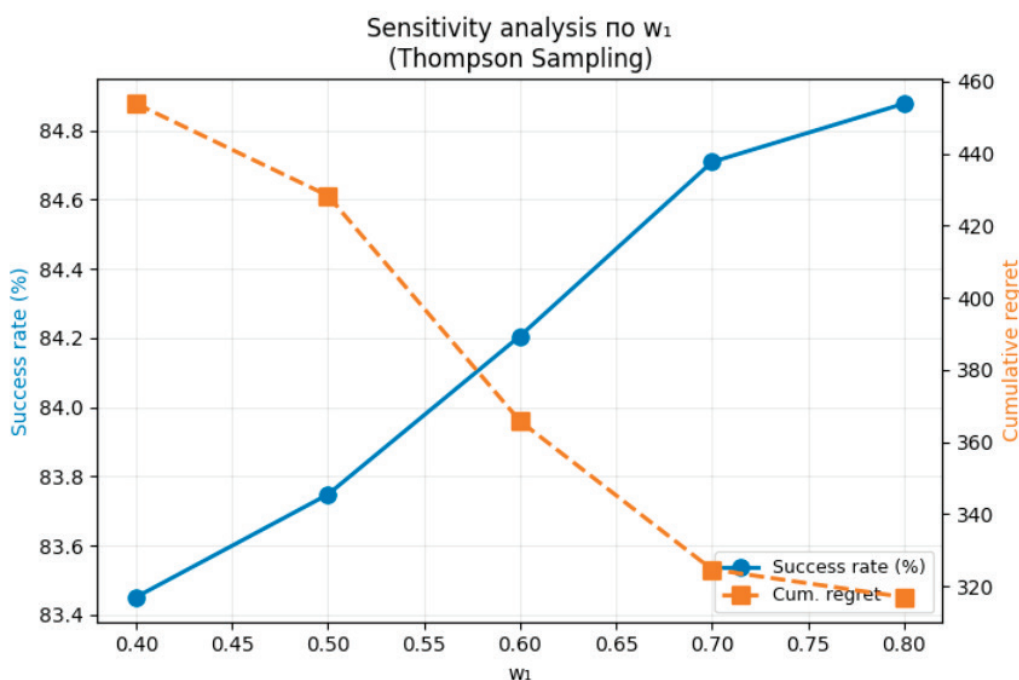


Рис. 3. Показатель успеха при деградации провайдера

Thompson Sampling демонстрирует наименьшее падение success rate после деградации провайдера. Жадный алгоритм восстанавливался значительно медленнее вследствие отсутствия механизма исследования. Методы Round-Robin и Random не адаптировались к изменению условий.

Механизм дисконтирования ($\gamma = 0.99$) обеспечивает постепенное снижение веса устаревших наблюдений, что позволяет Thompson Sampling оперативно перераспределить трафик на провайдеров P2 и P3 после деградации P1. Данный результат подтверждает практическую ценность предложенного метода в условиях реальной эксплуатации, где характеристики провайдеров могут изменяться непредсказуемо.

Анализ чувствительности к весовому коэффициенту w_1 показал устойчивость метода: при изменении w_1 от 0.4 до 0.8 success rate варьировался в диапазоне 83.4–84.8 %, что свидетельствует об устойчивости предложенной функции оценки (рисунок 4).

Рис. 4. Анализ чувствительности по w_1

Результаты Thompson Sampling для трёх бизнес-профилей весовых коэффициентов приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты Thompson Sampling по бизнес-профилям

Профиль	w_1	w_2	w_3	Success rate	Cum. regret
Conversion-first	0.70	0.20	0.10	84.71 %	319.27
Balanced	0.60	0.25	0.15	84.21 %	365.77
Cost-sensitive	0.50	0.15	0.35	83.56 %	446.17

Профиль Conversion-first обеспечивает наибольший success rate (84.71 %) и наименьший regret (319.27), поскольку максимально нацелен на вероятность успешной обработки транзакции. Профиль Cost-sensitive снижает success rate на 0.65 п.п. относительно Balanced, направляя трафик к провайдерам с меньшей комиссией. Данный результат демонстрирует гибкость предложенного метода: мерчант может настраивать приоритеты маршрутизации в соответствии с бизнес-задачами без изменения алгоритма.

Заключение

В работе предложен метод адаптивной маршрутизации платёжных транзакций, основанный на алгоритме Thompson Sampling с мультикритериальной функцией оценки. Задача выбора оптимального провайдера формализована как задача многорукого бандита с нестационарными вероятностями успеха. Предложенная функция оценки учитывает вероятность успешной обработки транзакции (моделируемую бета-распределением), латентность (нормализованную по SLA-порогу) и стоимость обработки. Для адаптации к нестационарной среде применяется дисконтирование параметров бета-распределения (Discounted Thompson Sampling). Описана архитектура микросервисной платформы и механизм интеграции Thompson Sampling с Circuit Breaker посредством частичного сброса параметров при восстановлении провайдера.

Экспериментальная оценка методом симуляции подтвердила превосходство предложенного метода над альтернативными подходами по показателям success rate и накопленного regret как в стационарных, так и в нестационарных условиях.

Направлениями дальнейшего развития являются: применение контекстуального бандита (Contextual Bandit) для учёта характеристик транзакции (BIN карты, регион эмитента, сумма) непосредственно при выборе провайдера; валидация метода на реальных исторических данных платёжной системы; исследование механизмов автоматической настройки весовых коэффициентов на основе бизнес-метрик.

Литература:

1. Ньюмен, С. Создание микросервисов / С. Ньюмен. — пер. с англ. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2022. — 624 с. — Текст: непосредственный.
2. Ричардсон, К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга / К. Ричардсон. — пер. с англ. — СПб.: Питер, 2022. — 544 с. — Текст: непосредственный.
3. Sutton, R. S. Reinforcement Learning: An Introduction / R. S. Sutton, A. G. Barto. — 2nd ed. — Cambridge: MIT Press, 2018. — 552 с. — Текст: непосредственный.
4. A Tutorial on Thompson Sampling / D. J. Russo, Van Roy B, A. Kazerouni [и др.]. — Текст: непосредственный // Foundations and Trends in Machine Learning. — 2018. — № 1. — С. 1–96.
5. Potluri, S. Understanding the Evolution of Payment Gateway Architectures: From Monolith to Microservices / S. Potluri. — Текст: непосредственный // Sarcouncil Journal of Engineering and Computer Sciences. — 2025. — № 9. — С. 269–276.

Разработка программного модуля интеллектуальной поддержки учащихся на основе интеграции с большими языковыми моделями

Кондратенко Алексей Сергеевич, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

В статье рассматривается процесс проектирования и разработки программного модуля интеллектуальной поддержки для образовательной веб-платформы. Описана проблема нехватки методического сопровождения при самостоятельной работе школьников. Представлена техническая реализация интеграции с YandexGPT, включая логику формирования системных промптов для различных сценариев (подсказки и анализ ошибок), архитектуру роутинга запросов (на стеке Django и Vue.js) и методы защиты от прямой выдачи ответов.

Ключевые слова: программная инженерия, искусственный интеллект, YandexGPT, веб-разработка, Django, Vue.js, образовательные технологии, промпт-инжиниринг.

Development of a program module for intelligent learner support based on integration with large language models

The article discusses the design and development of an intelligent support software module for an educational web platform. The problem of the lack of methodological support during the independent work of schoolchildren is described. The technical implementation of integration with YandexGPT is presented, including the logic of system prompt generation for various scenarios (hints and error analysis), request routing architecture (on the Django and Vue.js stack), and methods for preventing the direct provision of answers.

Keywords: software engineering, artificial intelligence, YandexGPT, web development, Django, Vue.js, educational technology, prompt engineering.

Введение

Одной из главных проблем самостоятельной работы школьников 5–9-х классов является резкое возрастание когнитивной нагрузки и объема учебного материала. При решении домашних заданий по математике учащиеся часто сталкиваются с нехваткой «опоры на метод», они не понимают, с чего начать решение задачи, и не обладают развитым метаязыком для формулирования конкретного вопроса преподавателю. В результате самостоятельная работа без своевременной обратной связи сводится либо к бессистемным попыткам угадать решение, либо к поиску готовых ответов.

Предоставление готового ответа закрывает задачу формально, но не формирует у ученика образовательного навыка. При таком подходе не отрабатываются критически важные этапы: декомпозиция задачи, сверка шагов с теорией и проверка осмысленности результата.

Внедрение искусственного интеллекта в образовательную веб-платформу решает задачу методически корректного сопровождения. ИИ настроен как тьютор, чья цель удерживать познавательную самостоятельность ученика. Наводящие вопросы и дозированные эвристические подсказки помогают восстановить ход рассуждений, опираясь на теорию урока, что способствует переносу навыка на аналогичные задачи.

Основная часть

Адаптивные ролевые модели и промпт-инжиниринг

Для обеспечения корректного педагогического поведения нейросети (на базе Yandex Cloud) программный модуль предусматривает два основных режима взаимодействия, переключение между которыми происходит автоматически в зависимости от этапа выполнения задания.

Первый режим «Тьютор». Он активируется в процессе решения задачи. Системная инструкция жестко ограничивает модель в выдаче прямых ответов, фокусируя её на генерации наводящих вопросов. Для предотвращения галлюцинаций в модель передается строго ограниченный набор инкапсулированных данных: теория урока, условие задачи, история диалога и скрытое от ученика эталонное решение. Шаблон системного промпта выглядит следующим образом:

«Ты опытный, добрый репетитор по математике. Твоя цель помочь ученику понять тему, но НЕ решать задачу за него. КОНТЕКСТ УРОКА (ТЕОРИЯ): [текст]. ЗАДАЧА, которую решает ученик: [условие]. ЭТАЛОННОЕ РЕШЕНИЕ (Только для тебя, не показывай его ученику!): [решение]. ИНСТРУКЦИЯ: 1. Если ученик просит ответ откажи мягко и дай подсказку. 2. Используй методы решения только из контекста урока. 3. Отвечай кратко, по делу, можно использовать эмодзи. 4. Задавай наводящие

вопросы. 5. ВАЖНО: Все математические формулы пиши строго в формате LaTeX...

Второй режим «Анализ ошибок». Он применяется после отправки решения, если оно оказалось неверным. В данном случае целью ИИ является верификация ответа пользователя, выявление конкретной ошибки и объяснение верного алгоритма. Для этого режима используется следующий промпт:

«Ты добрый учитель математики. Ученик решил задачу НЕПРАВИЛЬНО. Твоя цель: вежливо объяснить ошибку и показать верный ход мыслей. 1. Не ругай ученика. 2. Сравни ответ ученика с правильным. 3. Объясни, почему его ответ неверен (если это очевидно) или покажи, как прийти к верному ответу. 4. Используй LaTeX для формул. 5. Будь кратким (не более 3–4 предложений)».

Техническая реализация и архитектура системы

Взаимодействие ученика с ИИ интегрировано в клиентскую часть на базе фреймворка Vue.js 3. Архитектура серверной части реализована на базе фреймворка Django. Обработка запросов выстроена с упором на экономию ресурсов (LLM Routing) и защиту от злоупотреблений:

Интеллектуальный роутинг: Для сложных или первичных запросов используется модель yandexgpt/latest. Если в базе уже есть контекст диалога, а сообщение ученика короткое, запрос перенаправляется в экономичную модель yandexgpt-lite/latest.

Кэширование: Первичные подсказки к задаче кэшируются. При наличии истории диалога кэш отключается для поддержания уникального контекста беседы.

Троттлинг: Настроено ограничение частоты запросов к API (не более 5 запросов в минуту) для защиты системы от перегрузки.

Результаты

Разработанный модуль интеллектуальной поддержки прошел тестирование на практике, продемонстрировав высокую эффективность заложенных алгоритмов (Guardrails) в обоих режимах работы.

В режиме «Тьютор» система успешно удерживает познавательную активность учащегося. Рассмотрим пример сессии при решении уравнения методом введения новой переменной. В ответ на просьбу о помощи ИИ не выдает готовые корни, а предлагает первый шаг:

«Понимаю, что это может быть сложно, но давайте попробуем разобраться вместе! Давайте начнём с замены переменной. Пусть $t = \sqrt{x^2 - 3x + 26}$. Тогда $t^2 = x^2 - 3x + 26$. Теперь подставим это в исходное уравнение и посмотрим, что получится. Можете попробовать сделать это самостоятельно?»

После уточняющих вопросов ученика ИИ описывает логику обратной замены, что приводит к самостоятельному нахождению верного ответа (рис. 1).

В режиме «Анализ ошибок» модуль осуществляет ретроспективный разбор неверного ответа. Вместо сухой констатации факта ошибки, ИИ вежливо указывает на этап, где было допущено нарушение логики, и демонстрирует эталонный ход рассуждений с использованием LaTeX-рендеринга для наглядности математических выражений. Это позволяет учащемуся самостоятельно про-

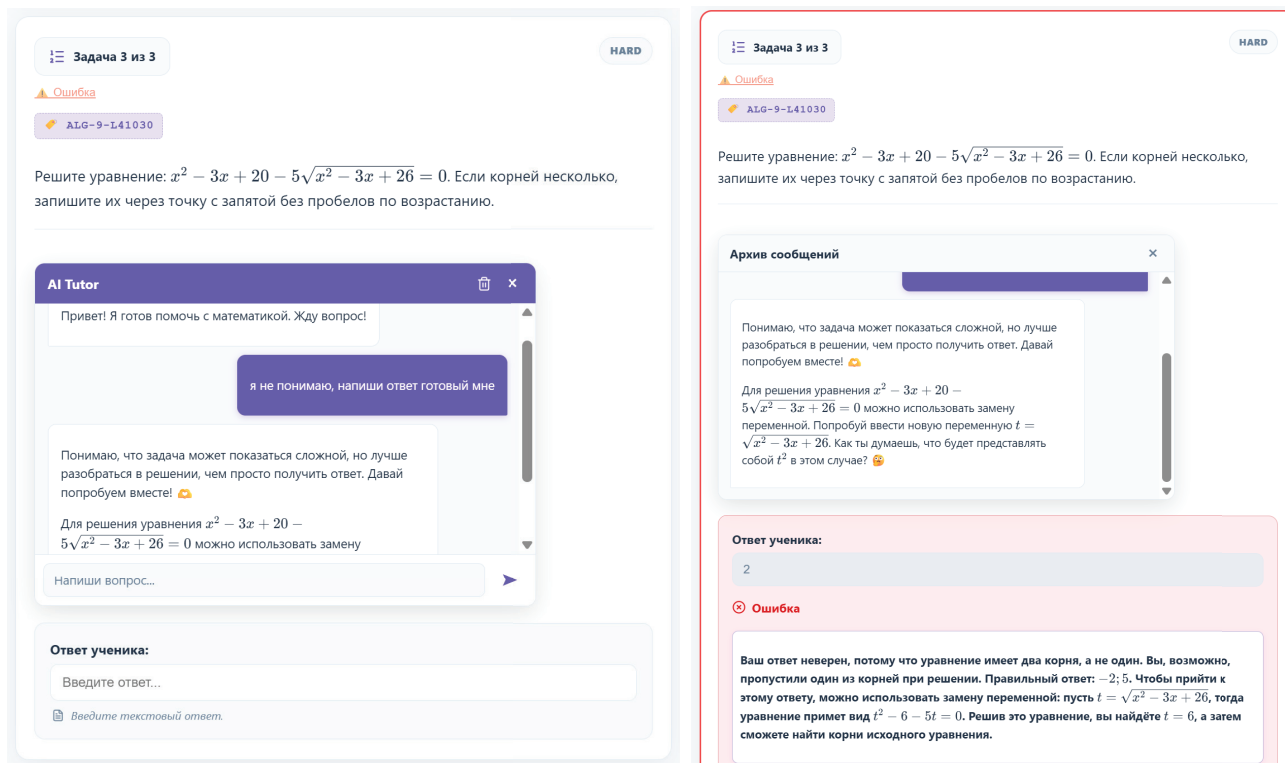


Рис. 1. Интерфейс модуля в режиме «Тьютор» и «Анализ ошибок»

вести работу над ошибками без привлечения преподавателя.

Заключение

Разработанный программный модуль интеллектуальной поддержки успешно решает задачу персонализации образовательного процесса. Использование адаптивных ролевых моделей и продуманный промпт-инжиниринг

позволили создать безопасную среду, в которой ИИ выполняет функции как тьютора, так и проверяющего учителя. Реализованная на серверной стороне архитектура интеллектуальной маршрутизации обеспечила баланс между высоким качеством ответов и экономией вычислительных ресурсов. Внедрение подобных программных решений открывает новые перспективы для автоматизации рутинной работы преподавателя и повышения качества самостоятельной подготовки школьников.

Литература:

1. Документация Yandex Cloud: YandexGPT API [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.cloud/ru/docs/yandexgpt/> (дата обращения: 06.04.2026).
2. Официальная документация фреймворка Django [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.djangoproject.com/> (дата обращения: 06.04.2026).
3. Роберт И. В. Теория и методика информатизации образования (психолого-педагогический и технологический аспекты). — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 398 с.
4. Марголис А. А. Искусственный интеллект и педагогика: возможности и риски // Психологическая наука и образование. 2020. Т. 25. № 4. С. 138–146.
5. Официальная документация фреймворка Vue.js [Электронный ресурс]. URL: <https://vuejs.org/guide/introduction.html> (дата обращения: 06.04.2026).
6. Kasneci E. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education // Learning and Individual Differences. 2023. Vol. 103. P. 102274.
7. White J. et al. A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT // arXiv preprint arXiv:2302.11382. 2023.

Многоагентная архитектура больших языковых моделей для логико-смыслового анализа текстовых протоколов совещаний

Тихонова Анастасия Андреевна, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

Введение

В настоящее время совещания остаются одной из главных форм принятия управленческих решений в компаниях и государственных организациях. По итогам совещаний составляются текстовые протоколы, в которых фиксируются обсуждаемые вопросы, принятые решения, поручения, ответственные лица и сроки выполнения [4].

В большинстве организаций анализ текстовых протоколов совещаний осуществляется вручную. Такой подход отличается высокой трудоёмкостью, значительными временными затратами и повышенным риском человеческих ошибок. Особенно сложным является логико-смысловой анализ содержания: выявление логических противоречий в решениях, поиск дублирующихся поручений, проверка причинно-следственных связей и обнаружение смысловых несоответствий. В результате ухудшается контроль исполнения поручений, а оперативность управленческих процессов заметно снижается [9].

Большие языковые модели (LLM) уже активно используются для обработки текста, однако одиночные модели

часто допускают ошибки при сложном логическом анализе длинных документов [1, 3]. Поэтому актуальной задачей становится разработка более эффективного подхода к автоматизированному анализу текстовых протоколов совещаний.

Целью данной работы является изучение проблем логико-смыслового анализа текстовых протоколов и обоснование преимуществ многоагентной архитектуры на основе больших языковых моделей. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: проанализировать существующие решения, выявить их недостатки, обосновать необходимость многоагентного подхода и разработать концептуальную модель программного модуля.

Ограничения существующих решений

Современные программные решения, такие как Otter.ai, Fireflies.ai, Sembly AI и Gong.io, ориентированы преимущественно на автоматическую расшифровку аудио- и видеозаписей совещаний с последующей суммаризацией полученных данных. Несмотря на высокую эффективность при выделении ключевых тем и формировании кратких

резюме, данные системы обладают рядом существенных ограничений.

В частности, они не обеспечивают полноценного логико-смыслового анализа содержания документов, не выявляют противоречия и дублирующие поручения, а также не анализируют причинно-следственные связи между решениями и задачами. Дополнительным ограничением является использование облачной инфраструктуры, что затрудняет

применение подобных решений в организациях с повышенными требованиями к защите информации [5–8].

В связи с указанными недостатками в рамках исследования разработан программный модуль анализа структуры и содержания текстовых протоколов совещаний (далее ПМ АСТПС), основанный на многоагентной архитектуре больших языковых моделей. Сравнение существующих решений с разработанным модулем представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ решений

Критерий	Otter.ai [5]	Fireflies.ai [6]	Sembly AI [7]	Gong.io [8]	ПМ АСТПС
Тип анализа	Суммаризация	Суммаризация	Тематическая разметка	Поведенческий	Логико-смысловой
Выявление противоречий и дублирования	Не поддерживается	Не поддерживается	Поддерживается	Не поддерживается	Поддерживается
Анализ причинно-следственных связей	Не поддерживается	Не поддерживается	Не поддерживается	Не поддерживается	Поддерживается
Автономный режим	Не поддерживается	Не поддерживается	Не поддерживается	Не поддерживается	Поддерживается

Как видно из таблицы, существующие платформы не обеспечивают необходимой глубины логико-смыслового анализа и не поддерживают автономную работу, что ограничивает их применение в корпоративной и государственной практике.

Преимущества многоагентной архитектуры для логико-смыслового анализа

В последние годы активно развиваются многоагентные системы, основанные на больших языковых моделях [1–3]. В отличие от монолитного подхода, предполагающего использование одной модели для решения всей задачи, многоагентная архитектура предусматривает распределение функций между специализированными агентами.

Данный подход обладает рядом существенных преимуществ. Во-первых, каждый агент выполняет свою узкую задачу, что повышает точность работы. Во-вторых, агенты могут проверять результаты друг друга (механизм взаимной критики), благодаря чему снижается количество ошибок и пропущенных противоречий. В-третьих, обмен информацией между агентами позволяет имитировать коллективное мышление и лучше понимать контекст обсуждения, включая намерения участников совещания [2].

Концептуальная модель и алгоритм работы программного модуля

В работе разработана концептуальная модель программного модуля анализа структуры и содержания текстовых протоколов совещаний, основанная на многоагентной архитектуре.

Предлагаемая модель включает три функционально специализированных компонента, последовательно выполняющих обработку входных данных. На первом этапе осуществляется извлечение ключевых сущностей из текста протокола, включая участников совещания, поручения, сроки исполнения и принятые решения. Данный этап реализуется агентом-экстрактором, который учитывает контекст высказываний и обеспечивает корректное определение ответственных лиц.

Далее результаты работы передаются Агенту-Критику, который выполняет основной логико-смысловой анализ. Этот агент проверяет полученные данные на наличие внутренних противоречий в формулировках решений, выявляет дублирующие или пересекающиеся поручения, анализирует причинно-следственные связи между принятыми решениями и назначенными задачами, а также обнаруживает смысловые пропуски и неопределённости. Агент-Критик критически оценивает результаты предыдущего этапа и помогает выявить ошибки и несоответствия, которые могла пропустить одиночная языковая модель.

На заключительном этапе в работу вступает Агент-Синтезатор. Он собирает информацию от двух предыдущих агентов и формирует итоговый структурированный отчёт. В отчёте содержится краткое содержание проведённого совещания, полный список участников, перечень задач с указанием ответственных лиц и сроков исполнения, а также отдельный раздел «Проблемы и замечания», где перечисляются все выявленные логические противоречия, дубликаты и смысловые несоответствия. Концептуальная модель представлена на рис. 1.

Обработка данных осуществляется в автономном режиме без передачи информации на внешние серверы.

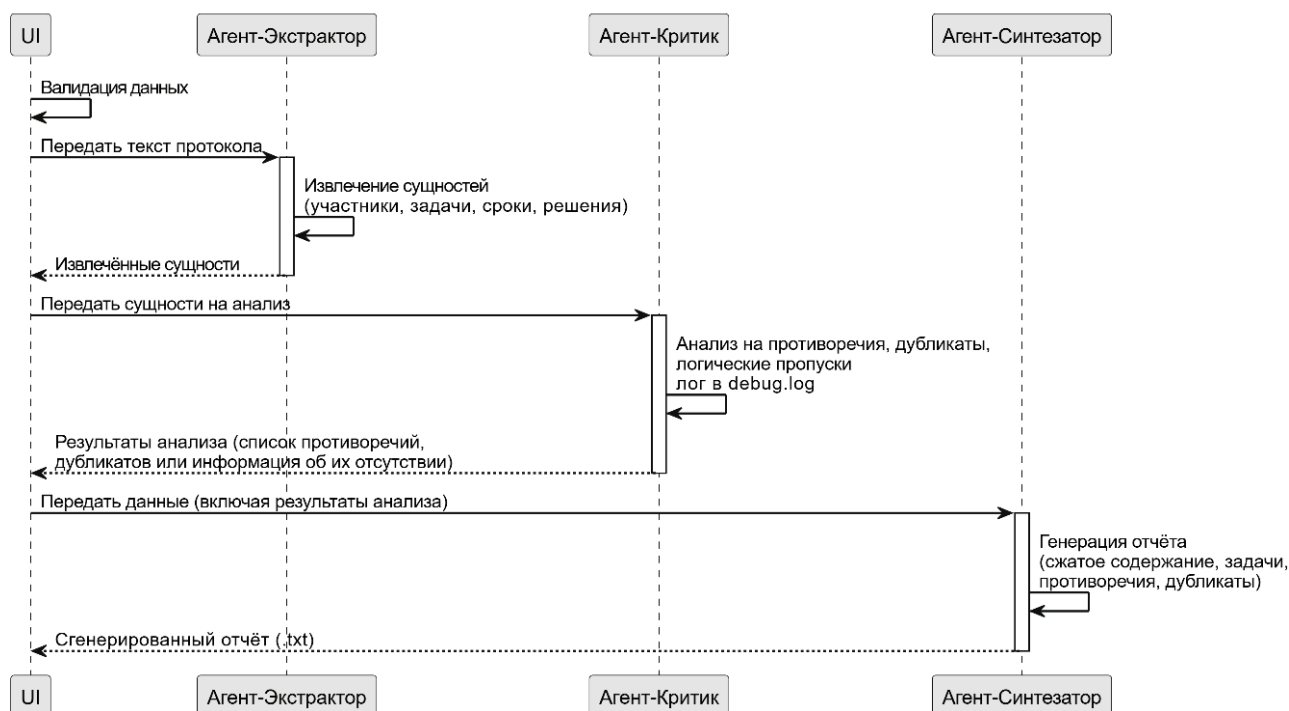


Рис. 1. Концептуальная модель ПМ АСПС

Перспективы развития и практическое значение

Предложенный подход позволяет существенно сократить временные затраты на анализ протоколов совещаний, повысить точность выявления управленческих рисков и обеспечить конфиденциальность обработки данных. Использование автономного режима делает возможным применение разработанного модуля в организациях с повышенными требованиями к информационной безопасности.

В то же время следует отметить, что эффективность метода в значительной степени зависит от качества извлечения сущностей на первом этапе обработки, а также сопровождается повышенными вычислительными затратами, обусловленными использованием нескольких языковых моделей.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением экспериментальной оценки точности предложенного подхода, расширением типов выявляемых логико-смысловых несоответствий, а также интеграцией разработанного модуля с системами электронного документооборота.

Литература:

1. Дидковский, Б. Р. Мультиагенты на основе больших языковых моделей: анализ прогресса и проблем / Б. Р. Дидковский. — Текст: электронный — URL: <https://na-journal.ru/6-2024-informacionnye-tehnologii/12984-multiagenty-na-osnove-bolshih-yazykovyh-modelei-analiz-progressa-i-problem?ysclid=mnugo4i37v730717584> (дата обращения: 08.04.2026).
2. Improving Factuality and Reasoning in Language Models through Multiagent Debate. — Текст: электронный // arXiv: [сайт]. — URL: <https://arxiv.org/abs/2305.14325> (дата обращения: 08.04.2026).
3. Li X. et al. A survey on LLM-based multi-agent systems: workflow, infrastructure, and challenges [Электронный ресурс] // arXiv. — URL: <https://arxiv.org/abs/2402.01680> (дата обращения: 08.04.2026).

Заключение

В ходе работы была выявлена актуальная проблема недостаточной глубины логико-смыслового анализа текстовых протоколов совещаний при использовании существующих решений. Однокомпонентные большие языковые модели не всегда справляются с задачами выявления противоречий и проверки логической согласованности документов.

Предложенная многоагентная архитектура с тремя специализированными агентами позволяет более эффективно решать эти задачи. Разработанная концептуальная модель ПМ АСПС обеспечивает высокий уровень точности анализа при сохранении полной автономности и конфиденциальности обработки данных.

Полученные результаты подтверждают эффективность многоагентного подхода для автоматизированного логико-смыслового анализа текстовых протоколов совещаний и открывают возможности его практического применения в системах поддержки принятия управленческих решений в организациях.

4. Методические рекомендации по разработке инструкции. Приложение № 9. — Текст: электронный // sudact.ru: [сайт]. — URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-rosarkhiva-ot-24122020-n-199-ob/metodicheskie-rekomendatsii-po-razrabotke-instruktsii/prilozheniia/prilozhenie-n-9/?ysclid=mnuhhhsp918881686> (дата обращения: 11.04.2026).
5. Otter.ai: официальный сайт. — Текст: электронный // otter.ai: [сайт]. — URL: <https://otter.ai/> (дата обращения: 08.04.2026).
6. Fireflies.ai: официальный сайт. — Текст: электронный // fireflies.ai: [сайт]. — URL: <https://fireflies.ai/> (дата обращения: 08.04.2026).
7. Sembly, AI официальный сайт / AI Sembly. — Текст: электронный // sembly.ai: [сайт]. — URL: <https://sembly.ai/> (дата обращения: 08.04.2026).
8. Gong — Revenue AI OS for Revenue teams. — Текст: электронный // gong.io: [сайт]. — URL: <https://www.gong.io> (дата обращения: 08.04.2026).
9. Документооборот I и II. — Текст: электронный // tls-cons.ru: [сайт]. — URL: <https://www.tls-cons.ru/media/slovar-pravovykh-terminov/d/dokumentooborot/dokumentooborot-i-ii/> (дата обращения: 11.04.2026).

Подходы к созданию цифровых двойников для мониторинга и увеличения ресурса главных редукторов

Турулин Алексей Олегович, разработчик ПО
ModelizeIT Inc (г. Стони-Брук, США)

В данной научной статье рассмотрены перспективы и преимущества использования концепции цифровых двойников для эффективного мониторинга и увеличения ресурса главных редукторов, а также применения подходов цифровых двойников в разных отраслях отечественной промышленности, при этом важным условием повышения производительности подобного оборудования является сокращение степени износа, защита устройств от перегрузок за счет грамотного технического обслуживания, своевременного обнаружения неполадок, правильного выбора и настройки главных редукторов под конкретные требования эксплуатации на промышленном объекте.

Ключевые слова: Digital Twin, цифровой двойник, мониторинг, главные редукторы, промышленность, производственные объекты, увеличение ресурса, снижение степени износа, эффективная оценка, оборудование, оптимизация.

Digital twin approaches for monitoring and extending the service life of main gearboxes

Turulin Alexey Olegovich, software developer
ModelizeIT Inc. (Stony Brook, United States of America)

This scientific article discusses the prospects and advantages of using the concept of digital twins for effective monitoring and increasing the life of main gearboxes, as well as the use of Digital Twin approaches in various sectors of the domestic industry, while an important condition for increasing the productivity of such equipment is to reduce wear, protect devices from overloads, due to competent maintenance, timely Troubleshooting, the correct selection and adjustment of the main gearboxes for the specific requirements of operation in an industrial facility.

Keywords: Digital Twin, digital twin, monitoring, main gearboxes, industry, production facilities, resource increase, wear reduction, effective assessment, equipment, optimization.

Цель: выделить ключевые особенности и преимущества подходов Digital Twin для подтверждения необходимости поэтапного внедрения этих методик на производственных объектах Российской Федерации.

Метод: обобщение, сравнение, сопоставление, комплексный анализ, теоретико-практическая оценка, а также изучение выводов из научных работ экспертов в теме развития цифровых двойников в промышленности.

Введение

В актуальных экономических реалиях многих предприятий и коммерческие организации сталкиваются с постоянным ростом требований к производительности труда, с необходимостью повышения эффективности и конкурентоспособности на международном рынке. Выводом последних лет стала цифровая трансформация,

запустившая изменение не только технологических, но и организационно-управленческих решений, функционирования разных отраслей промышленности и существовавших ранее бизнес-моделей. Для предприятий Российской Федерации, как никогда, важен переход к современным системам проектирования и моделирования, использованию аддитивных технологий, алгоритмов машинного обучения и предиктивной аналитики. Уже давно доказана результативность комплексного подхода, а внедрение методик Digital Twin (цифровых двойников) позволит в несколько раз увеличить ресурс работы промышленного оборудования. Эти универсальные инструменты оптимизации показали отличные показатели мониторинга и оценки данных.

Эффективный мониторинг и оптимизация посредством использования методик Digital Twin

Подход цифровых двойников основан на использовании функций воспроизведения поведения и функционирования физических активов, процессов в специально смоделированной виртуальной среде. Главным преимуществом такой методики является ускоренная, результативная оптимизация производственных процессов через высокоточный анализ больших объемов данных, что способствует стратегическому сокращению затрат и росту эффективности разных направлений деятельности. В большинстве случаев цифровые двойники применяются в технологически точных проектах или с целью совершенствования наиболее важных, опреде-

ляющих компонентов промышленного оборудования. Так, увеличение ресурса главных редукторов требуется в автомобилестроении, авиационной промышленности и многих других отраслях. Отдельно стоит отметить, что цифровые двойники обладают достаточной степенью автономностью для анализа разрозненных данных о производительности, работоспособности и факторах обслуживанию физического объекта. Можно сделать простой вывод об отнесении подхода Digital Twin к перспективным инструментам, которые позволяют предприятиям повысить эффективность, увеличить прибыль, сократить издержки и обеспечить цифровую трансформацию для перехода на новый уровень выпуска готовой продукции. Создание виртуальных моделей физических объектов или физических систем дает лучшие условия оптимизации бизнес-процессов, а также возможности прогнозирования результатов и определение сфер, нуждающихся в различных улучшениях [1] [2]. Ниже на рисунке 1 показаны базовые элементы функционирования цифровых двойников в промышленности.

Что касается методик цифровых двойников, то они базируются на сборе, систематизации и использовании данных с физических объектов через датчики, моделировании в реальном времени допустимых результатов, необходимых для оптимизации и прогнозирования. Главные редукторы активно применяются в машиностроении, строительстве, горнодобывающей промышленности, транспортной отрасли и в сельском хозяйстве. Это незаменимые установки, от степени износа которых зависит выполнение многочисленных трудовых задач. По этой

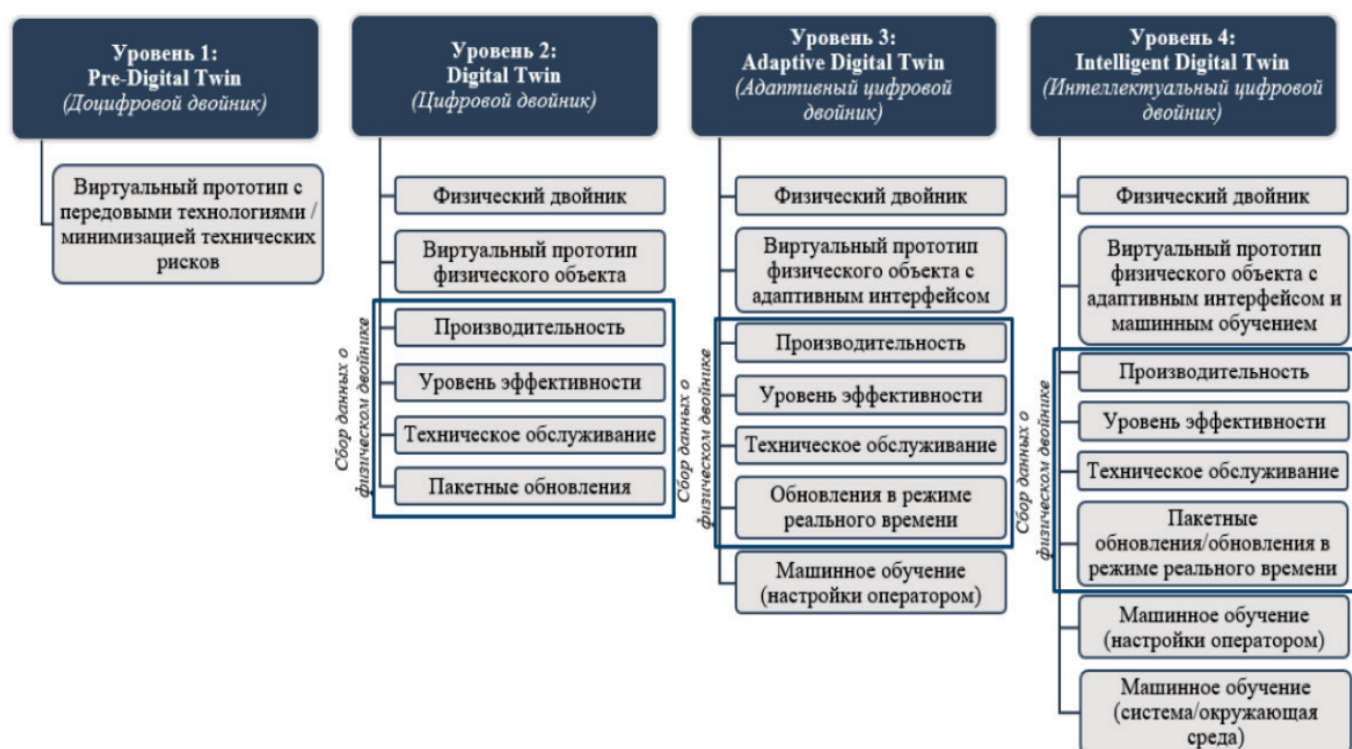


Рис. 1. Принцип работы цифровых двойников

причине увеличение ресурса главных ресурсов, посредством внедрения методик цифровых двойников, является актуальной, перспективной и важной целью [3]. В основе подхода Digital Twin лежит использование пяти ключевых элементов:

- Сенсоров для сбора данных;
- Актуаторов для воздействия;
- Совокупности информации для анализа;
- Процесса моделирования для воспроизведения;
- Осуществление аналитики для обработки информации и дальнейшего принятия верных решений [4].

По мнению большинства исследователей, именно объединение разноплановых методик и принципов реализации подхода Digital Twin позволяет достичь максимально эффективной оптимизации процессов. Требуется использование датчиков и устройств с алгоритмами искусственного интеллекта, установленных на реальных промышленных объектах, которые выполняли бы задачу сбора данных (о производительности, технических характеристиках оборудования, окружающей среде и негативных факторах) [5]. Далее должны осуществляться процессы интеграции данных, моделирование, аналитика и прогнозирование. Применение технологий искусственного интеллекта, машинного обучения, а также проверенных инструментов комплексного анализа позволяет выявить аномалии, предсказать сбои в работе промышленных установок и определить их причины до возникновения критических ситуаций [6].

Помимо этого, важно внимание следует уделять методикам «визуализация и управление», «обратная связь и оптимизация». Первый инструмент признается наиболее эффективным в контексте помощи командам, отдельным специалистам или управляющим в принятии обоснованных решений, изучение рисков и тестирование разных сценариев в виртуальной среде [7]. А на основе анализа, совершенных прогнозов по цифровым объектам допустимо осуществление деятельности, направленной на предотвращение серьезных поломок или неисправностей, а также выполнение работ, обеспечивающих повышение эффективности технического обслуживания конкретной установки, устройства или оборудования [8]. Алгоритмы машинного обучения и технологии искус-

ственного интеллекта становятся обязательными рычагами успешной оптимизации, так как создают условия построения максимально точных прогнозов. Подход Digital Twin в промышленности обеспечивает формирование детализированных трехмерных моделей физических объектов и процессов, удаленный мониторинг, оценку технического состояния, а главное снижение рисков быстрого или неожиданного износа, выхода из строя, совершения типовых ошибок при принятии важных организационных, технологических, финансовых решений в бизнесе [9].

Понятие «увеличение ресурса главных редукторов» представляет собой совокупность мероприятий, мер и инструментов, необходимых для продления срока эксплуатации оборудования за счет снижения износа деталей. Достигнуть этого эффекта можно через регулярное техническое обслуживание, использование материалов высокого качества и правильный выбор нагрузочных характеристик. Однако всегда есть человеческий фактор, ошибки в соблюдении режимов эксплуатации и различные обнаруженные технические неполадки. И именно цифровые двойники являются перспективной, значимой технологией в промышленности, которая позволяет оптимизировать разноплановые процессы, повысить эффективность, точность и гибкость в осуществлении разных задач на производственных объектах, что делает их неотъемлемой частью будущего [10].

Заключение

Подводя итог, методики Digital Twin признаются результативным инструментом мониторинга, системного анализа и контроля функционирования производственных объектов и процессов, в том числе технического обслуживания и влияния на увеличение ресурса главных редукторов. Этот подход может быть применен в разных отраслях промышленности, а также в предпринимательской деятельности с целью надлежащей оптимизации одновременно нескольких задач, что позволит предприятиям и коммерческим организациям достигнуть цифровой трансформации (для выхода на новый уровень конкурентоспособности бизнеса на международном рынке).

Литература:

1. Свадковский В. А. (2023). Применение цифровых двойников для повышения операционной эффективности предприятий добывающих отраслей. Стратегические решения и риск-менеджмент, 14(3): 292–311;
2. Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М. (2018). «Умные» цифровые двойники — основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения. Трампин к успеху, 13: 26;
3. Самосудов М. В. (2018). Концепция программы нового поколения для автоматизации деятельности. В: Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Революция в управлении: новая цифровая экономика или новый мир машин: материалы II Международного научного форума. Вып. 5. М., Издательский дом ГУУ, 40–50;
4. Концепция технологического развития на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р;

5. Абрамов В. И., Гордеев В. В., Столяров А. Д. Создание региональных бизнес-экосистем на основе цифровых профилей клиентов и омниканальных коммуникаций // Экономика, предпринимательство и право. — 2023. — № 5. — с. 1521–1540;
6. Умное производство. Двойники цифровые производства. Элементы визуализации цифровых двойников производства. ПНСТ 428–2020;
7. Абрамов В. И., Туйцына А. А. Цифровые двойники — эффективные инструменты цифровой трансформации компании // Управление бизнесом в цифровой экономике: Сборник тезисов выступлений Четвертой международной конференции. / Под общей редакцией И. А. Аренкова, М. К. Ценжарик. — Санкт-Петербург: СПГУПТД. Санкт-Петербург, 2021. — с. 33–39;
8. Абрамов В. И., Абрамов О. В., Поливанов К. В., Семенков К. Ю. Особенности создания цифровых двойников управления логистикой предприятий // Новое в экономической кибернетике. — 2024. — № 2. — с. 52–61;
9. Столяров А. Д., Гордеев В. В., Абрамов В. И. Методика поиска многокритериальных решений на основе цифровых двойников // Экономика и управление. — 2023. — № 7. — с. 851–858;
10. Абрамов В. И., Головин О. Л., Столяров А. Д. Методика поиска Парето-оптимальных решений по развитию умных городов на базе их цифровых двойников // Современная экономика: проблемы и решения. — 2021. — № 9(141). — с. 8–15.

Поиск программного искажения движений документов при производстве судебной компьютерно-технической экспертизы «1С:Предприятие»

Чубарь Станислав Алексеевич, студент
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

В статье рассматриваются проблемы выявления программных механизмов искажения учётных записей в информационных базах «1С:Предприятие» при производстве судебной компьютерно-технической экспертизы. Цель работы — разработка трехуровневого алгоритма поиска механизмов сокрытия движений документов, реализованных на уровне программного кода. На основе анализа архитектуры платформы выделены два типовых способа искажения: условный пропуск формирования движений и прямое удаление записей после их записи. Предложен алгоритм, включающий анализ кода конфигурации, исследование журнала регистрации и низкоуровневый анализ данных. Апробация выполнена на примере документа «ЗаказНаряд» в конфигурации «1С:Автосервис». Результаты могут быть использованы экспертами и следователями при производстве СКТЭ информационных баз «1С:Предприятие».

Ключевые слова: судебная компьютерно-техническая экспертиза, 1С:Предприятие, цифровые следы, механизмы 1С, работа с программным кодом.

Введение

В условиях цифровой трансформации экономики и активного внедрения автоматизированных систем бухгалтерского и управленческого учета, платформа «1С:Предприятие» стала одним из ключевых элементов инфраструктуры большинства российских организаций. Вместе с тем, распространенность данной системы обуславливает ее активное использование в качестве инструмента или объекта противоправных действий, в частности — при фальсификации учетных данных, хищениях и искажении отчетности. Следственная и судебная практика сталкивается с ростом случаев сокрытия экономических преступлений путем манипуляции записями в базах данных «1С». При этом штатные механизмы аудита (журналы регистрации) не всегда фиксируют изменения, выполненные с использованием недокументированных возможностей программного кода. Данное обстоятельство порождает объективную необходимость в разработке специализированных экспертных инструментов и методик.

Архитектурная специфика объекта исследования

Эффективность разработки алгоритмов поиска механизмов сокрытия движений в среде «1С:Предприятие» напрямую обусловлена корректным учетом архитектурных особенностей данного программного комплекса как объекта

судебной компьютерно-технической экспертизы. Как было обосновано в предшествующем исследовании [1], архитектура «1С:Предприятие» представляет собой многоуровневую систему, состоящую из технологической платформы (исполнительной среды) и настраиваемых прикладных решений (конфигураций), что обуславливает ее уникальность среди иных объектов СКТЭ. При этом ключевое значение для выбора инструментария и методик экспертного исследования имеет двойственный характер развертывания информационных баз: файловый (данные содержатся в едином файле «1Cv8.1CD») и клиент-серверный (с использованием внешних СУБД, таких как Microsoft SQL Server или PostgreSQL) [1].

Специфика платформы, как отмечалось ранее, заключается в том, что объектом экспертного исследования выступает не только массив фактографических учетных данных, но и метамодель конфигурации — формализованная иерархия объектов метаданных, включающая справочники, документы, регистры четырех основных типов (сведений, накопления, бухгалтерии и расчетов), а также реализованный на встроенном языке «1С» программный код, определяющий бизнес-логику учетных процессов [1]. Данное обстоятельство принципиально расширяет перечень возможных механизмов сокрытия движений: противоправные действия могут быть реализованы не только на уровне прямого внесения изменений в таблицы базы данных, но и посредством модификации программного кода конфигурации (внедрение «закладок», условных блоков, пропускающих проведение документов), манипуляций с метаданными (изменение структуры регистров), а также использования недокументированных возможностей платформы.

Этапы экспертного алгоритма

На основе обобщения существующих методических подходов и с учетом архитектурной специфики, охарактеризованной выше, предлагается трехуровневая структура экспертного алгоритма поиска механизмов сокрытия движений в информационных базах «1С:Предприятие». Данный алгоритм интегрируется в общую логику производства СКТЭ, этапы которой были детализированы в предшествующей работе: изучение материалов дела и поставленной задачи, первичный анализ объекта, исследование состава и структуры данных, проведение инструментального исследования, формирование экспертного заключения [1].

Первый этап — анализ метамодели и программного кода конфигурации — направлен на выявление потенциальных точек модификации учетной логики, которые могут быть использованы для сокрытия движений. С использованием конфигулятора платформы, как ключевого инструментального средства, эксперт осуществляет ревизию программных модулей, отвечающих за формирование движений документов по регистрам (в первую очередь — процедур проведения и обработок проведения). Признаками, свидетельствующими о наличии механизмов сокрытия, выступают: наличие недокументированных условных переходов, блоков кода, осуществляющих запись в регистры с игнорированием штатных проверок, фрагментов, модифицирующих или удаляющих уже сформированные движения «задним числом», а также обращений к системным таблицам в обход стандартных API.

Второй этап — анализ журнала регистрации и восстановление хронологии событий — служит верификации выявленных аномалий и установлению временных параметров вмешательства. Журнал регистрации, содержащий хронологически упорядоченные записи о действиях пользователей и системных событиях, позволяет реконструировать последовательность операций, идентифицировать участников процессов, а также сопоставить фактические временные метки внесения изменений с заявленными (например, выявить факты проведения документов «задним числом»). При этом, как справедливо отмечалось в научной литературе, критически важным является принцип неизменности цифрового доказательства [2], что требует работы не с исходным носителем, а с его битовой копией.

Третий этап — инструментальный анализ низкоуровневой структуры данных — применяется для обнаружения следов, не фиксируемых журналом регистрации или замаскированных на уровне прикладного кода. В зависимости от варианта развертывания информационной базы (файловый или клиент-серверный) используются соответствующие инструментальные средства: для файловых баз — анализ внутренней структуры файла «1Cv8.1CD» с использованием специализированных утилит, позволяющих извлекать удаленные записи и восстанавливать историю изменений таблиц; для серверных баз — прямой анализ системных таблиц и логов транзакций СУБД. На данном этапе выявляются такие артефакты, как: наличие записей с некорректными или противоречащими бизнес-логике реквизитами, признаки прямого внесения изменений в таблицы баз данных в обход прикладного кода, а также следы массовой модификации или удаления учетных записей.

Практическая апробация алгоритмов поиска

Для иллюстрации предложенных в предыдущем алгоритмах рассмотрим фрагмент реальной конфигурации на платформе «1С:Предприятие» (документ «ЗаказНаряд» в учёте автосервиса). В штатном (не модифицированном) виде процедура «ОбработкаПроведения» модуля объекта выглядит следующим образом:


```

1 Процедура ОбработкаПроведения(Отказ, РежимПроведения)
1   Если НЕ Статус = Справочники.СтатусыЗаказНарядов.Закрыт Тогда
      ПроведениеДокументовАвосервис.ОчиститьДвиженияДокумента(ЭтотОбъект);
      Возврат;
1   КонецЕсли;

ПроведениеДокументовАвосервис.ИнициализироватьДополнительныеСвойстваДляПроведения(Ссылка, ДополнительныеСвойства);
Документы.ЗаказНаряд.ИнициализироватьТаблицыПроводок(Ссылка, ДополнительныеСвойства);

ТаблицыПроводок = ДополнительныеСвойства.ТаблицыДляДвижений;

ПроведениеДокументовАвосервис.ПровестиДокумент(ЭтотОбъект, "ЗапасыВПроизводстве", ТаблицыПроводок);
ПроведениеДокументовАвосервис.ПровестиДокумент(ЭтотОбъект, "Взаиморасчеты", ТаблицыПроводок);
ПроведениеДокументовАвосервис.ПровестиДокумент(ЭтотОбъект, "Продажи", ТаблицыПроводок);

ПроведениеДокументовАвосервис.ЗаписатьНаборыЗаписей(ЭтотОбъект);
ПроведениеДокументовАвосервис.КонтрольОстатков(Ссылка, ДополнительныеСвойства, Отказ);

1 КонецПроцедуры

```

Рис. 1. Типовой вариант исполнения кода отражения движений объекта метаданных «Документ.ЗаказНаряд»

Логика работы такова: если статус документа не «Закрыт» — движения очищаются, проведение отменяется; в противном случае формируются движения по трём регистрам накопления, выполняется контроль остатков.

На основе анализа судебной практики выделены два типовых механизма сокрытия движений, реализуемых путём модификации данного кода.

Первый механизм — условный пропуск формирования движений. В процедуру добавляется условный оператор, прерывающий проведение до вызова инициализации таблиц. Например:

```

Если Контрагент = Справочники.Контрагенты.НайтиПоКоду("1234") Тогда
    Возврат;
КонецЕсли;

```

Рис. 2. Пример реализации механизма «условного пропуска движений»

В результате для указанного контрагента документ формально проводится (статус «Закрыт»), однако движения в регистры не записываются. ТМЦ не списываются, выручка не отражается.

Второй механизм — прямое удаление движений после их штатной записи. Перед вызовом метода «ЗаписатьНаборыЗаписей» добавляется код, удаляющий записи по одному или нескольким регистрам:

```

НаборЗаписейПродажи = Движения.Продажи.СоздатьНаборЗаписей();
НаборЗаписейПродажи.Отбор.Регистратор.Установить(Ссылка);
НаборЗаписейПродажи.Записать(Ложь); // удаление всех записей регистратора

```

Рис. 3. Пример реализации механизма «прямое удаление движений»

Контроль остатков при этом уже выполнен (дефицит не выявлен), а затем записи удаляются, что приводит к исчезновению учётных данных.

Для выявления описанных закладок применяется трехуровневый алгоритм, предложенный в предыдущем разделе. На первом уровне (анализ метамодели и кода) эксперт с помощью конфигулятора выполняет сравнение текущей конфигурации с эталонной (типовой или резервной копией), фиксируя наличие недокументированных условных переходов или операций записи наборов записей с параметром «Ложь» после штатного проведения. На втором уровне (анализ журнала регистрации) эксперт проверяет наличие событий проведения документов при отсутствии записей о движениях по соответствующим регистрам, а также выявляет расхождения между временем выполнения процедуры проведения и моментом последней модификации данных. На третьем уровне (низкоуровневый анализ данных) в зависимости от варианта развертывания базы эксперт либо анализирует внутреннюю структуру файла «1Cv8.1CD» с использованием специализированных утилит, либо выполняет SQL-запросы к системным таблицам транзакций (например, fn_dblog для MS SQL Server) для обнаружения следов удаления записей по конкретному регистратору.

Апробация алгоритма на предоставленном коде показывает, что при наличии модификации первого типа эксперт фиксирует расхождение между статусом документа (проведён) и отсутствием записей в таблицах регистров при одно-

временном обнаружении в коде недокументированного условного возврата. При модификации второго типа в логах транзакций СУБД обнаруживаются операции LOP_DELETE_ROWS по объектам регистров с идентификатором транзакции, соответствующим записи набора. В совокупности с отсутствием документального обоснования внесённых изменений данные признаки позволяют эксперту сделать категорический вывод о наличии недеklarированной возможности, целенаправленно обеспечивающей сокрытие учётных записей, что имеет прямое доказательственное значение при расследовании экономических преступлений (ст. 159.6, 201 УК РФ).

Литература:

1. Климович, Л. П. Актуальные вопросы судебной компьютерно-технической экспертизы информационных баз «1С:Предприятие» / Л. П. Климович, С. А. Чубарь // Бизнес. Образование. Право. — 2026. — № 1(74). — С. 183–192. — DOI 10.25683/VOLBI.2026.74.1527. — EDN LDUDHV.
2. Ботвина В. В., Караваева А. В. Принцип неизменности объекта исследования при производстве судебной компьютерно-технической экспертизы // Modern Science. 2021. № 12–3. С. 143–147.
3. Радченко М. Г., Хрусталева Е. Ю. 1С:Предприятие 8.3: практ. пособие разработчика. М.: Э, 2016. 926 с

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Интеллектуальная система управления режимами микросети промышленного предприятия при высокой интеграции возобновляемых источников энергии

Бажин Михаил Александрович, студент магистратуры
Тольяттинский государственный университет (Самарская область)

В статье рассматриваются особенности интеллектуального управления режимами микросети промышленного предприятия в условиях высокой интеграции возобновляемых источников энергии. Раскрыта роль микросетей в обеспечении надёжного и гибкого электроснабжения промышленных объектов, а также показано, что рост доли ВИЭ требует перехода от традиционного диспетчерского контроля к более сложным цифровым и адаптивным механизмам координации. Особое внимание уделено теоретическим основам управления режимами микросети, включая баланс мощности, качество электроэнергии, устойчивость и прогнозирование. Отдельный акцент сделан на практических аспектах функционирования интеллектуальной системы управления. Показано значение накопителей энергии, алгоритмов прогнозирования, приоритизации нагрузки и выбора архитектуры микросети для поддержания устойчивой работы промышленного предприятия. Сделан вывод о том, что эффективность интеграции ВИЭ определяется не только наличием возобновляемой генерации, но и качеством интеллектуального управления, обеспечивающего согласованность всех элементов локальной энергосистемы.

Ключевые слова: микросеть, промышленное предприятие, интеллектуальная система управления, возобновляемые источники энергии, ВИЭ, распределённая генерация, режимы электроснабжения, накопители энергии, цифровизация энергетики, электроэнергетика.

An intelligent microgrid management system for an industrial enterprise with high integration of renewable energy sources

The article examines the features of intelligent control of the operating modes of an industrial enterprise microgrid under conditions of high integration of renewable energy sources. The role of microgrids in ensuring reliable and flexible power supply for industrial facilities is revealed, and it is shown that the growing share of renewable energy sources requires a transition from traditional dispatch control to more complex digital and adaptive coordination mechanisms. Special attention is paid to the theoretical foundations of microgrid mode control, including power balance, power quality, stability, and forecasting. Particular emphasis is placed on the practical aspects of the functioning of an intelligent control system. The importance of energy storage systems, forecasting algorithms, load prioritization, and the choice of microgrid architecture for maintaining the stable operation of an industrial enterprise is demonstrated. It is concluded that the effectiveness of renewable energy integration is determined not only by the presence of renewable energy, but also by the quality of intelligent control, which ensures the coordination of all elements of the local power system.

Keywords: microgrid, industrial enterprise, intelligent control system, renewable energy sources, RES, distributed generation, power supply modes, energy storage systems, energy digitalization, electric power engineering.

Микросеть или по-другому микросеть — это локальная энергосистема, которая предполагает создание на определенной территории собственных энергосетевых структур, способных работать в том числе автономно [10]. Такая система обладает собственными источниками генерации энергии, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнце или ветер, и способна взять на себя задачу удовлетворения спроса

потребителей при максимуме пиковых нагрузок. Это своего рода уменьшенная версия централизованной системы электроснабжения, созданная для увеличения надёжности поставок электроэнергии, повышения энергонезависимости за счет диверсификации источников энергии, а также снижения затрат на оплату счетов [18].

Микросети существуют с момента начала электрификации общества. В последние сто лет микросети можно

найти в удаленных районах, обслуживая децентрализованных потребителей [2]. Обоснованием использования микросетей были рентабельные поставки электроэнергии в места, где строительство линий электропередачи было невозможно или слишком дорого. В последние десятилетия появились новые аспекты, и использование микросетей больше не ограничивается удаленными районами. Компания Navigant Research [5] ежеквартально предоставляет статистические данные об известных сетевых и удаленных проектах микросетей на этапах планирования, разработки и развертывания в шести географических регионах и семи сегментах микросетей. С 2018 года компания Navigant Research выявила более 240 дополнительных проектов микросетей общей мощностью более 1239 МВт. Согласно отчету, удаленные микросети составляют почти 40 % всей мощности микросетей в мире, в общей сложности 7604,4 МВт. Локальные микросети занимают небольшую долю от общего количества микросетей в развитом мире.

В последние годы, в условиях постоянного роста глобального спроса на энергию и все более серьезных экологических проблем, потребление электроэнергии растет быстрее ее генерации. Развитие генерации идет двумя путями — развитие централизованной и децентрализованной генерации, в том числе на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Возобновляемая энергия как чистая, эффективная и устойчивая энергетика получила в мире широкое применение. Интеллектуальная сеть обеспечивает техническую поддержку для эффективного использования возобновляемых источников энергии и решения энергетических проблем.

Возобновляемая энергия является важной частью энергетического перехода 4.0 и устойчивого развития электроэнергетики. Интеллектуальные сети могут лучше интегрировать возобновляемую энергию и управлять ею, повышают эффективность и надежность ее использования, а также способствуют устойчивому развитию энергетики.

Исследования применения возобновляемых источников энергии в интеллектуальных сетях направлены на оптимизационное планирование функционирования энергосистемы. Посредством прогнозирования, распределения и управления возобновляемой энергией можно уменьшить зависимость от традиционной энергетики, сократить выбросы углекислого газа, повысить эффективность и надежность энергосистемы.

Нестабильность и неопределенность при работе возобновляемых источников энергии, обусловленных климатическими характеристиками, создают проблемы для энергосистемы. Исследования по применению возобновляемой энергии в интеллектуальных сетях могут сбалансировать нестабильность генерации электроэнергии ВИЭ, повысить устойчивость и гибкость электроэнергетической системы (ЭЭС) за счет интеллектуальной диспетчеризации, технологии хранения энергии и адаптивного реагирования на спрос.

Теоретическая база управления режимами микросети обычно строится вокруг нескольких взаимосвязанных блоков. Первый блок связан с балансом активной и реактивной мощности. При высокой доле ВИЭ задача поддержания баланса перестаёт быть линейной, поскольку генерация изменяется не только по графику, но и под влиянием погодных факторов. Второй блок касается качества электроэнергии. Для промышленного потребителя существенны провалы напряжения, гармонические искажения, перегрузки и колебания частоты. Третий блок охватывает вопросы устойчивости и надёжности, включая способность микросети сохранять работоспособность при авариях, переключениях и островных режимах. Именно сочетание этих направлений формирует современное понимание эффективного режима, который нельзя свести только к минимизации затрат [8].

Отдельного внимания заслуживают режимы работы микросети. Наиболее распространёнными считаются сетевой режим, при котором микросеть синхронизирована с внешней сетью, и автономный режим, когда управление осуществляется с опорой на собственные ресурсы. Для промышленного предприятия ценность автономного режима особенно велика, поскольку он повышает энергетическую независимость и устойчивость критически важных технологических процессов. Однако переход между режимами представляет собой сложную задачу. Здесь требуется не просто переключение схемы, а быстрое согласование частоты, напряжения, нагрузки и резервов мощности. По этой причине в обзорах методов управления микросетями подчёркивается значение многоуровневой архитектуры, где локальные контуры регулирования сочетаются с верхним уровнем интеллектуального координирования [3].

Серьёзную роль в теории управления играет и вопрос прогнозирования. При высокой интеграции ВИЭ точность прогноза становится одним из ключевых факторов качества управления. Прогноз требуется не только для выработки солнечных и ветровых установок, но и для электропотребления, состояния накопителей, ожидаемых пиков нагрузки и вероятности дефицита мощности. Применение инструментов искусственного интеллекта в этой части выглядит особенно оправданным, поскольку такие методы лучше работают с нелинейными зависимостями, сезонностью и быстро меняющимися входными данными. В публикациях по управлению электропотреблением сообщества микросетей показано, что алгоритмы интеллектуального анализа позволяют повысить точность решений и уменьшить неопределённость в режимном планировании [10].

В итоге теоретические основы управления режимами микросети промышленного предприятия при интеграции ВИЭ опираются на сочетание классических принципов электроэнергетики и новых цифровых подходов. Базой остаются надёжность, баланс мощности, устойчивость и качество электроэнергии, однако при высокой доле возобновляемой генерации решающим становится интел-

лектуальный уровень управления. Именно он связывает прогноз, автоматизацию, адаптацию и координацию распределённых ресурсов в единую систему, способную поддерживать эффективный и устойчивый режим работы промышленной микросети.

Практическая сторона управления микросетью промышленного предприятия проявляется в том, что любое отклонение режима сразу отражается на производственном процессе. Если для бытового сектора колебания нагрузки чаще всего означают лишь изменение графика потребления, то в промышленности ситуация иная. Здесь режим работы связан с электроприводами, насосными станциями, компрессорным оборудованием, печами, системами вентиляции и автоматизированными линиями. По этой причине интеллектуальная система управления должна учитывать не только параметры генерации и сети, но и технологическую чувствительность конкретных нагрузок. В условиях высокой интеграции ВИЭ особое значение приобретает способность системы заранее распознавать риск дефицита мощности, перераспределять потоки энергии и поддерживать устойчивость электропитания без нарушения производственного цикла [8].

На практике ключевая проблема состоит в переменном характере выработки возобновляемых источников. Солнечная генерация зависит от инсоляции, времени суток, облачности и сезонных факторов. Ветровая генерация ещё более подвержена колебаниям. Для промышленной микросети это означает, что режим нельзя строить только по фиксированному расписанию. Необходима адаптивная модель, в которой решения принимаются на основе текущих измерений, прогноза и заранее заданных сценариев реагирования. В работах по применению ВИЭ в интеллектуальных сетях подчёркивается, что эффективность интеграции таких источников напрямую зависит от качества координации генерации, накопителей и потребителей, а также от точности алгоритмов управления в реальном времени [9].

С практической точки зрения интеллектуальная система управления обычно решает несколько групп задач. Во-первых, она прогнозирует нагрузку и ожидаемую выработку ВИЭ. Во-вторых, определяет оптимальный режим накопителей энергии. В-третьих, координирует взаимодействие с внешней сетью, выбирая, когда выгоднее получать мощность извне, а когда использовать локальные ресурсы. В-четвёртых, ограничивает или перераспределяет часть второстепенной нагрузки в моменты режимного напряжения. Такой подход особенно важен для предприятий с выраженной суточной неравномерностью потребления, где пики нагрузки совпадают с периодами снижения локальной генерации. Применение алгоритмов искусственного интеллекта в задачах прогнозирования и управления позволяет сократить ошибку принятия решений и уменьшить число ситуаций, в которых режим поддерживается с запаздыванием [10].

Отдельный практический интерес представляет выбор архитектуры микросети. Для промышленного объекта

возможны как решения на базе переменного тока, так и комбинированные структуры, где используются участки переменного и постоянного тока. Выбор зависит от состава нагрузки, типа распределённых источников, наличия накопителей и требований к преобразовательной технике. В обзорах по построению микросетей отмечается, что универсального варианта не существует. Более устойчивыми оказываются те конфигурации, где структура сети изначально согласована с характером производства, профилем электропотребления и особенностями локальной генерации [5]. Практика показывает, что ошибка на этапе проектирования архитектуры позже приводит к росту потерь, усложнению алгоритмов управления и снижению общей гибкости системы [6].

Немаловажную роль играет и вопрос приоритетов внутри самой микросети. На промышленном предприятии не все потребители равнозначны. Оборудование непрерывного цикла, системы безопасности, диспетчерские узлы и критические приводы должны получать питание в первую очередь. Менее чувствительные потребители могут временно переводиться в ограниченный режим. Интеллектуальная система управления в таком случае работает не просто как регулятор электрических параметров, а как механизм режимной иерархии. Она ранжирует нагрузки, оценивает доступный резерв, выбирает допустимый сценарий разгрузки и удерживает наиболее значимые элементы технологической цепочки. Именно здесь цифровизация даёт наибольший прикладной эффект, поскольку решение принимается не вручную, а на основе заранее обученной логики и оперативных данных [4].

Практика внедрения подобных систем тесно связана с проблемой надёжности. Высокая доля ВИЭ сама по себе не гарантирует устойчивость электропитания. Более того, без продуманного управления она может усилить нестабильность режима. Поэтому реальная эффективность микросети определяется не количеством подключённых солнечных панелей или иных источников, а степенью согласованности всех элементов. Наиболее результативной выглядит модель, в которой ВИЭ дополняются накопителями, средствами быстрого регулирования и прогнозными алгоритмами. В таком сочетании удастся сглаживать колебания генерации, уменьшать нагрузку на внешнюю сеть и поддерживать более предсказуемую структуру энергоснабжения предприятия [1].

Ещё один прикладной аспект связан с экономикой режима. Для промышленной микросети интеллектуальное управление важно не только с позиции технической устойчивости, но и с позиции затрат. Алгоритмы могут выбирать между несколькими сценариями, например использовать накопленную энергию в период ценового пика, временно увеличить долю собственной генерации или, напротив, принять мощность из внешней сети, если такой вариант в данный момент выгоднее и безопаснее. В результате управление превращается в инструмент не только стабилизации, но и оптимизации. На этом фоне особенно заметна ценность цифровых платформ, объеди-

няющих мониторинг, прогноз, диспетчеризацию и анализ режимов в едином контуре принятия решений [4].

В итоге практические аспекты интеллектуального управления микросетью промышленного предприятия показывают, что высокая интеграция ВИЭ требует не локальных настроек, а системной перестройки логики электроснабжения. Решающее значение получают прогнозирование, адаптивное перераспределение ресурсов, приоритизация нагрузок, накопление энергии и непрерывный цифровой контроль режима. Именно такая модель делает микросеть не просто технологически современной, а реально пригодной для устойчивой работы промышленного объекта в условиях энергоперехода [7].

Рассмотрение темы показало, что интеллектуальная система управления режимами микросети промышленного предприятия становится ключевым элементом устойчивого электроснабжения при высокой доле возобновляемых источников энергии. Значение такой системы определяется не только ростом интереса к ВИЭ, но и усложнением самих режимных процессов, где необходимо одновременно учитывать баланс мощности, качество электроэнергии, надёжность питания и технологическую чувствительность промышленной нагрузки.

В первой части статьи была сформирована теоретическая база темы. Было установлено, что микросеть уже нельзя воспринимать как простую совокупность локальных источников и потребителей. Речь идёт о сложной управляемой системе, в которой режим зависит от согласованной работы генерации, накопителей, преобразовательной техники и цифровых алгоритмов. Наибольшее значение в этих условиях получают прогнозирование, адаптация и координация распределённых энергоресурсов, поскольку именно они позволяют удерживать устойчивость режима при переменной выработке ВИЭ.

Анализ практической стороны вопроса показал, что для промышленного предприятия особую роль играют приоритизация нагрузки, выбор архитектуры микросети, использование накопителей энергии и оперативная реакция на изменения внешних и внутренних параметров. Наиболее существенным оказался вывод о том, что высокая интеграция ВИЭ сама по себе не обеспечивает эффективности. Реальный результат достигается только тогда, когда возобновляемая генерация встроена в единую интеллектуальную систему управления, способную заранее выявлять риски, перераспределять ресурсы и поддерживать непрерывность производственного процесса.

Литература:

1. Белобородов, С. С. Возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества: монография / С. С. Белобородов, Е. Г. Гашо, А. В. Ненашев. — Санкт-Петербург: Научное издательство «Технологии», 2021. — 151 с. — ISBN 978-5-6047314-3-7.
2. Возобновляемые источники энергии и приоритеты научно-технологического развития энергетики России: сборник докладов Школы молодых ученых. — Москва: ИНЭИ РАН, 2022. — 222 с. — ISBN 978-5-91438-034-9.
3. Вольный, В. С. Обзор принципов построения и методов управления режимами микросетей переменного тока низкого напряжения / В. С. Вольный, П. В. Илюшин // Релейная защита и автоматизация. — 2023. — № 2. — С. 28–41.
4. Илюшин, П. В. Методы интеллектуального управления распределёнными энергоресурсами на базе цифровой платформы: монография / П. В. Илюшин, С. П. Ковалев, А. Л. Куликов, А. А. Небера, Ф. С. Непша. — Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2021. — 104 с.
5. Илюшин, П. В. Обзор структур микросетей низкого напряжения с распределёнными источниками энергии / П. В. Илюшин, В. С. Вольный // Релейная защита и автоматизация. — 2023. — № 1. — С. 68–80.
6. Илюшин, П. В. Подходы к созданию микросетей переменного и переменного-постоянного тока на базе существующей пассивной распределительной сети / П. В. Илюшин, В. С. Вольный // Энергия единой сети. — 2023. — № 3. — С. 36–49.
7. Исследование путей и темпов развития низкоуглеродной энергетики в России / А. А. Макаров, А. В. Кейко, В. А. Малахов [и др.]; под ред. А. А. Макарова. — Москва: ИНЭИ РАН, 2022. — 138 с. — ISBN 978-5-91438-032-5.
8. Папков, Б. В. Надёжность и эффективность современного электроснабжения: монография / Б. В. Папков, П. В. Илюшин, А. Л. Куликов. — Нижний Новгород: Научно-издательский центр «XXI век», 2021. — 160 с. — ISBN 978-5-6045837-5-3.
9. Савина, Н. В. Применение возобновляемых источников энергии в интеллектуальных сетях / Н. В. Савина, Юй Хан // Вестник Амурского государственного университета. — 2024. — № 107. — С. 41–48.
10. Сташкевич, Е. В. Прогнозирование и управление электропотреблением сообщества микросетей с применением искусственного интеллекта / Е. В. Сташкевич, Н. И. Айзенберг, И. Г. Илюхин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». — 2022. — Т. 22, № 2. — С. 18–29.

Сравнительный анализ методов планирования пути мобильных роботов в средах с динамическими препятствиями

Неделин Михаил Андреевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Попова Маргарита Ивановна, кандидат технических наук, доцент
Воронежский государственный технический университет

Рост электронной коммерции обуславливает интенсивное внедрение автоматически управляемых тележек (AGV — Automated Guided Vehicle) в складскую логистику. Центральной задачей системы управления AGV является планирование маршрута в среде, содержащей как статические, так и динамические (персонал, другие AGV) препятствия. В статье выполнен сравнительный анализ методов планирования пути мобильных роботов в динамических средах. Рассмотрены классические алгоритмы поиска и подходы к учёту подвижных преград, алгоритм оптимального взаимного избегания столкновений, а также пространственно-временное планирование. Проанализированы промышленные решения в складской робототехнике. Установлено, что существующие подходы либо не учитывают динамику препятствий на уровне глобального планирования, либо требуют значительных вычислительных ресурсов, либо — применительно к методам взаимного избегания, предполагают строго кооперативное поведение всех участников движения. Выявлено, что интеграция прогнозирования движения объектов непосредственно в функцию стоимости алгоритма A разработана недостаточно. Это определяет перспективное направление исследований — создание модификаций A со штрафной функцией для превентивного обхода прогнозируемых зон риска.*

Ключевые слова: планирование пути (path planning), алгоритм A (A algorithm), автоматически управляемая тележка (AGV — Automated Guided Vehicle), автономный мобильный робот (AMR — Autonomous Mobile Robot), динамические препятствия (dynamic obstacles), складская логистика (warehouse logistics), навигация (navigation).

Современная складская логистика характеризуется интенсивным внедрением средств автоматизации [3]. Ключевым элементом таких комплексов выступают автоматически управляемые тележки (AGV), обеспечивающие автономное перемещение грузов [11]. Устойчивый рост масштабов применения AGV-систем выдвигает повышенные требования к алгоритмам управления их движением.

Центральной задачей навигации AGV является планирование маршрута [1, 3]. Классические методы поиска пути, такие как алгоритм A* [9], эффективно решают данную задачу в статической среде. Однако реальный склад представляет собой динамическое пространство, в котором присутствуют движущиеся объекты: персонал, другая погрузочная техника, смежные AGV [5, 14]. Отсутствие механизмов упреждающего планирования приводит к практическим проблемам: частым остановкам робота при сближении с объектами, неэффективности маршрутов и рискам столкновений [14].

Проблематика навигации в изменяющихся средах имеет обширную теоретическую базу. Для адаптации к обновлению карты применяются инкрементальные алгоритмы перепланирования D [16] и D Lite [12]. В пространствах высокой размерности используются вероятностные методы: быстро исследующее случайное дерево (RRT — Rapidly-exploring Random Tree) [13] и вероятностная дорожная карта (PRM — Probabilistic Roadmap) [10]. Явное моделирование динамики преград реализовано в таких подходах, как препятствия в пространстве скоростей (VO) [7], оптимальный взаимный алгоритм избегания столкновений (ORCA) [17] и пространственно-временное планирование [15].

Несмотря на разнообразие методов, вопрос интеграции прогнозирования движения препятствий непосредственно в функцию стоимости глобального планировщика остаётся недостаточно проработанным [3, 14]. Большинство алгоритмов либо обладают высокой вычислительной сложностью, либо работают на реактивном уровне, либо требуют централизованной кооперации агентов, что неприменимо к неконтролируемому персоналу склада [55].

Целью данного сравнительного анализа является систематизация существующих методов планирования пути мобильных роботов в динамических средах, выявление их ограничений и обоснование перспективного направления исследований применительно к задаче навигации AGV.

Задача планирования пути заключается в определении последовательности допустимых состояний, переводящих мобильного робота из начальной точки в целевую при обходе препятствий [1, 2]. В складских системах навигации рабочее пространство, как правило, представляется в виде сетки занятости (occupancy grid) — дискретного разбиения пространства на ячейки, помечаемые как свободные или занятые [1]. Данное представление обеспечивает простую интеграцию с данными систем одновременной локализации и построения карты (SLAM — Simultaneous Localization and Mapping) [3].

Алгоритм Дейкстры [2] предназначен для поиска кратчайших путей во взвешенном графе с неотрицательными весами рёбер. Алгоритм гарантирует оптимальность решения, однако не использует информации о расположении цели, что приводит к исследованию значительной части графа и снижает эффективность в задачах направленного поиска.

Алгоритм A*, предложенный в работе [9], расширяет подход Дейкстры введением эвристической функции, на-

правляющей поиск к цели. По сравнению с алгоритмом Дейкстры, A* значительно сокращает число раскрываемых вершин. Ограничением алгоритма является его ориентация на статическую среду: при изменении карты требуется повторный запуск поиска.

Для работы в частично известной или изменяющейся среде разработаны инкрементальные алгоритмы перепланирования D [16] и D Lite [12]. Данные методы эффективны при обновлении информации о статических препятствиях, однако не учитывают прогнозируемое движение подвижных объектов.

В пространствах высокой размерности применяются вероятностные методы планирования: быстро исследу-

ющее случайное дерево (RRT) [13] и метод вероятностных дорожных карт (PRM) [10].

Преимуществом данных подходов является хорошая масштабируемость, однако базовый RRT не гарантирует оптимальности (в отличие от его модификации RRT*, обеспечивающей асимптотическую оптимальность), а построение PRM требует значительных вычислительных ресурсов. Для плоской навигации AGV их преимущества менее выражены по сравнению с графовыми алгоритмами.

Сравнительные характеристики рассмотренных алгоритмов применительно к задаче навигации AGV в складской среде систематизированы в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ классических алгоритмов планирования пути

Алгоритм	Оптимальность	Адаптация к изменениям	Учёт динамических препятствий	Особенности
Дейкстры	Да	Нет	Нет	Полный перебор по стоимости
A*	Да (при допустимой эвристике)	Нет	Нет	Направленный эвристический поиск
D / D Lite	Да	Да (инкрементально)	Нет	Перепланирование при изменении статической карты
RRT	Нет	Нет	Нет	Случайное сэмплирование; RRT* — асимптотически оптимален
PRM	Зависит от плотности графа	Нет	Нет	Предварительное построение дорожной карты

Рассмотренные алгоритмы ориентированы на статическую среду. Ни один из них не предусматривает явного учёта движения препятствий на этапе глобального планирования, что определяет необходимость рассмотрения специализированных методов, представленных в следующем разделе.

Алгоритмы, рассмотренные выше, оперируют статическим представлением среды. В реальных складских условиях робот функционирует в окружении подвижных объектов (персонала, погрузочной техники, других AGV). Учёт динамических препятствий требует моделирования их движения и интеграции этой информации в процесс управления [14]. В зависимости от уровня принятия решений выделяют реактивные методы (выбор мгновенного управляющего воздействия) и глобальные (построение полного пути).

Метод искусственных потенциальных полей [11] основан на аналогии с физическими силами. Он обеспечивает простое реактивное управление и допускает естественное расширение на динамические препятствия: отталкивающий потенциал пересчитывается на каждом шаге с учётом текущего положения объектов.

Основным ограничением метода является проблема локальных минимумов: в определённых конфигурациях среды результирующая сила обращается в ноль, и робот останавливается, не достигнув цели [11]. Кроме того, метод не строит глобального маршрута, что может приводить к выбору неэффективных траекторий.

Метод динамического окна (DWA — Dynamic Window Approach) [8] является одним из наиболее распространённых локальных планировщиков в практических системах навигации, в частности в рамках программного обеспечения ROS (Robot Operating System). К достоинствам метода относится явный учёт кинематических ограничений робота. Однако DWA, как и метод потенциальных полей, является реактивным: горизонт планирования ограничен одним шагом, и метод не способен упреждающе обходить опасные зоны.

Концепция препятствий в пространстве скоростей (VO — Velocity Obstacles) [7] позволяет определить множество скоростей робота, при выборе которых произойдёт столкновение с движущимся объектом. Достоинством VO является формальный учёт скоростей препятствий в реальном времени. Ограничение состоит в том, что метод определяет лишь допустимые скорости на текущем шаге, требуя интеграции с алгоритмом глобального планирования [3].

Алгоритм оптимального взаимного избегания столкновений (ORCA — Optimal Reciprocal Collision Avoidance) [17] расширяет концепцию VO для многоагентных систем. К достоинствам ORCA относятся децентрализованность и масштабируемость. Существенным ограничением, специфичным именно для данного метода, является строгое требование кооперативного поведения: алгоритм предполагает, что все подвижные объекты используют ORCA. Данное допущение не выполняется для неконтро-

лируемых объектов (персонала, ручных погрузчиков), поведение которых не подчиняется формализованным правилам [5, 14].

Подход пространственно-временного планирования рассматривает время как дополнительное измерение конфигурационного пространства [15]. Дискретизация временного измерения (пространственно-временной A^*) приводит к экспоненциальному росту числа состояний

в графе. Алгоритм SIPP (Safe Interval Path Planning) [15] снижает эту вычислительную сложность до полиномиальной, группируя безопасные моменты времени в интервалы и сокращая число раскрываемых состояний. Тем не менее, SIPP по-прежнему требует полного знания траекторий всех объектов на горизонте планирования и неустойчив к отклонениям реального поведения препятствий от прогноза [4, 14].

Таблица 2. Сравнительный анализ методов учёта динамических препятствий

Метод	Уровень	Требования к информации	Применимость к неконтролируемым объектам	Сложность
Потенциальные поля	Реактивный	Текущие позиции	Да	Низкая
DWA	Реактивный	Позиции, кинематика	Да	Низкая
VO	Реактивный	Позиции и скорости	Да	Низкая
ORCA	Реактивный	Состояния агентов	Ограничена (требует кооперации)	Средняя
SIPP	Глобальный	Полные траектории на горизонте	Да (при известном прогнозе)	Полиномиальная (экспоненциальная у пространственно-временного A^*)

Из таблицы 2 следует, что рассмотренные методы делятся на реактивные и глобальные. Реактивные подходы обеспечивают быстрое локальное избегание столкновений, но не формируют целенаправленного маршрута. Глобальное пространственно-временное планирование учитывает полные траектории, но предъявляет высокие требования к ресурсам и информации. Таким образом, промежуточный подход — интеграция прогноза движения препятствий непосредственно в классический глобальный планировщик на плоскости (x, y) — в рассмотренных методах не реализован.

Практический контекст рассматриваемой задачи определяется текущим состоянием рынка складских роботов и подходами к навигации, реализованными в промышленных системах. Анализ решений позволяет выявить характерные архитектурные особенности и типичные ограничения, актуальные для задачи учёта динамических препятствий.

Мировой рынок складских роботов характеризуется переходом от систем с фиксированными маршрутами (AGV с магнитной или оптической навигацией) к автономным мобильным роботам со свободной навигацией [3]. Одним из пионеров массового внедрения мобильных роботов является компания Amazon Robotics. В работе [18] описана централизованная система координации сотен транспортных средств, перемещающих стеллажи к станциям комплектации по QR-кодам на полу. Данный подход обеспечивает высокую точность, однако требует специальной инфраструктуры и полного контроля над всеми подвижными объектами [18].

Современные решения зарубежных компаний (Geek+, Fetch Robotics, Locus Robotics, MiR) ориентированы на навигацию в неструктурированных средах в присутствии людей. Используются алгоритмы одновременной локализации и построения карты (SLAM) с применением лидаров и камер глубины [6].

Российский рынок складской робототехники находится на этапе активного формирования [6]. Отечественные компании (Ronavi Robotics, Aripix Robotics, ГК «Роботикс» и др.) предлагают решения, сопоставимые по базовому функционалу с зарубежными аналогами: роботы используют лазерную навигацию и способны функционировать в условиях склада с присутствием персонала. Однако масштабы внедрений в России пока уступают мировым лидерам и представлены преимущественно пилотными проектами [3].

Анализ показывает, что ограничения в работе с динамическими препятствиями носят системный характер для всей отрасли. И зарубежные, и отечественные решения опираются на реактивную стратегию: обнаружение → остановка → локальный обход. Это свидетельствует о том, что алгоритмическая задача интеграции прогноза движения препятствий в глобальный планировщик остаётся нерешённой не только в теоретическом, но и в прикладном отношении.

Таким образом, проведённый анализ показывает, что ни один из рассмотренных методов не решает задачу глобального планирования с учётом динамики препятствий при приемлемой вычислительной сложности.

Статичность классических алгоритмов. Алгоритм A^* [9] и алгоритм Дейкстры [2] обеспечивают оптималь-

Таблица 3. Сравнительный анализ особенностей систем навигации промышленных складских роботов

Характеристика	Реализация в промышленных системах	Ограничения для динамических сред
Глобальное планирование	A*, Дейкстра по статической карте	Маршрут строится без учёта движущихся объектов; перепланирование только по факту блокировки пути
Локальное управление	Реактивные методы (DWA, потенциальные поля)	Горизонт планирования ограничен зоной видимости сенсоров; риск попадания в тупик
Координация	Центральный диспетчер	Эффективна только для контролируемых агентов (AGV); не применима к персоналу
Реакция на препятствие	Остановка и ожидание	Снижение пропускной способности склада
Сенсорное обеспечение	Лидары, камеры глубины (SLAM)	Фокус на обнаружение, а не на прогнозирование движения

ность в статической среде, но их функции стоимости не содержат компонентов, отражающих движение объектов. Инкрементальные алгоритмы D и D* Lite [12, 16] эффективно адаптируются к появлению или исчезновению статических препятствий, однако не моделируют их траектории, рассматривая динамику как последовательность независимых изменений карты [14].

Локальность реактивных методов. Метод динамического окна (DWA) [8] и препятствия в пространстве скоростей (VO) [7] обеспечивают быстрое реагирование, но не формируют глобального маршрута. Алгоритм ORCA [17], помимо этого, предполагает кооперативное поведение всех агентов — ограничение, специфичное именно для методов взаимного избегания и неприменимое к неконтролируемому персоналу склада [5].

Вычислительная сложность пространственно-временного подхода. Пространственно-временной A* характеризуется экспоненциальным ростом пространства поиска при добавлении временного измерения. Алгоритм SIPP [15] снижает эту сложность до полиномиальной, однако по-прежнему требует полного знания траекторий всех объектов на горизонте планирования [4].

Преобладание реактивных стратегий в промышленности. Как зарубежные, так и отечественные системы [3, 11] используют многоуровневую архитектуру, где глобальный планировщик работает со статической картой, а динамические объекты обрабатываются локальным уровнем остановки и ожидания. Это снижает пропускную способность склада.

Недостаточная разработанность подхода «прогнозирование + A». Систематический поиск в базах данных научной литературы (eLibrary.ru, cyberleninka.ru Scopus, IEEE Xplore) по запросам «A penalty function dynamic obstacles», «A prediction cost function», «штрафная функция A динамические препятствия» выявляет лишь единичные работы, рассматривающие изменение весов рёбер или узлов на основе информации о препятствиях [3, 14]. Комплексный подход, предусматривающий введение штрафного слагаемого, зависящего от расстояния до прогнозируемых зон риска динамических объектов, в виде устоявшегося алгоритма в литературе практически отсутствует. Именно это подтверждает тезис о недостаточной проработанности данного направления.

На основании выявленных ограничений можно выделить следующие перспективные направления исследования.

Интеграция прогнозирования в функцию стоимости. Недостаточно разработан систематический подход к введению штрафной функции в алгоритм A*, учитывающей прогнозируемые позиции динамических препятствий без увеличения размерности пространства поиска (в отличие от пространственно-временного планирования). Модификация функции стоимости вида: $f(n) = g(n) + h(n) + \text{penalty}(n)$, где $\text{penalty}(n)$ зависит от расстояния до прогнозируемых зон риска, позволила бы сочетать оптимальность A* с превентивным избеганием опасных участков [3, 14].

Открытый теоретический вопрос. При этом следует отметить, что введение зависящего от прогнозируемого движения штрафа $\text{penalty}(n)$ делает стоимость узла динамической. Открытым остаётся принципиальный теоретический вопрос о сохранении свойств допустимости (admissibility) и консистентности (consistency) эвристики при наличии такого временного штрафа, поскольку без этих свойств алгоритм A* не гарантирует оптимальности. Формализация условий, при которых $\text{penalty}(n)$ не нарушает математических гарантий оптимального поиска, представляет собой самостоятельную исследовательскую задачу.

Гибридные архитектуры. Комбинирование глобального планировщика (с учётом прогноза) с локальным реактивным методом (например, DWA) позволит обеспечить целенаправленность маршрута при сохранении способности к оперативному реагированию на отклонения прогноза [1, 5].

Формализация критериев перепланирования. Разработка комплексных условий инициации перепланирования — не только при физическом блокировании пути, но и при превышении порога опасности или пересечении с прогнозируемой зоной риска — позволит повысить адаптивность без постоянного перевычисления маршрута [5]. Результаты анализа обобщены в таблице 4.

Из таблицы 4 следует, что наиболее значимым пробелом является недостаточная проработанность подходов к интеграции прогнозирования движения препятствий непосредственно в функцию стоимости алгоритма A*. Данное направление представляет интерес как в тео-

Таблица 4. Соответствие выявленных пробелов перспективным направлениям

Выявленный пробел	Ограниченность существующих методов	Перспективное направление
А* не учитывает движение препятствий	Функция стоимости статична	Модификация А* штрафной функцией на основе прогноза
D/D Lite адаптируются только к статическим изменениям	Отсутствие моделирования траекторий	Расширение инкрементальных алгоритмов для учёта движения
VO/ORCA — реактивный уровень	Отсутствие глобального пути; ORCA требует кооперации	Комбинирование с глобальным планировщиком с прогнозом
Сложность пространственно-временного планирования	Зависимость SIPP от полного знания траекторий	Приближённые методы с ограниченным горизонтом прогнозирования
Реактивность промышленных систем	Остановка и ожидание при появлении препятствий	Внедрение упреждающего планирования в промышленные системы
Недостаточная разработанность «прогноз + А*»	Единичные работы; отсутствие устоявшихся алгоритмов	Систематическая разработка и верификация штрафных функций

ретическом плане (формализация штрафной функции, анализ влияния на свойства допустимости и консистентности эвристики), так и в прикладном (повышение эффективности навигации AGV на складах за счёт сокращения числа вынужденных остановок).

Заключение

В статье выполнен сравнительный анализ методов планирования пути мобильных роботов в средах с динамическими препятствиями. Рассмотрены классические алгоритмы поиска пути, методы учёта динамики препятствий, а также промышленные решения в области складской робототехники.

Установлено, что классические алгоритмы ориентированы на статическую среду; методы VO, ORCA и DWA обеспечивают локальное реактивное избегание столкновений, но не формируют глобального маршрута; алгоритм SIPP, несмотря на полиномиальную сложность, требует

полного знания траекторий на горизонте планирования. Промышленные системы преимущественно используют стратегию остановки при обнаружении препятствий, что снижает эффективность складских операций.

Выявлено, что наиболее значимым пробелом является недостаточная проработанность подходов к интеграции прогнозирования движения препятствий непосредственно в функцию стоимости алгоритма глобального планирования. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется разработка модификаций А, использующих штрафную функцию для учёта прогнозируемых зон риска динамических объектов. При этом ключевой теоретической задачей является формализация условий сохранения допустимости и консистентности эвристики при введении временного штрафа, что определяет самостоятельную линию исследований и позволит сочетать оптимальность глобального планирования с превентивным обеспечением безопасности при приемлемой вычислительной сложности.

Литература:

1. Гайдук, А. Р. Методы планирования пути мобильных роботов: монография / А. Р. Гайдук, И. А. Каляев, В. М. Лохин [и др.]. — М.: Физматлит, 2020. — 320 с. — ISBN 978-5-9221-1876-3.
2. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2013. — С. 487–521.
3. Лю, В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) / В. Лю // Математика и математическое моделирование. — 2018. — № 1. — С. 15–58. — DOI: 10.24108/mathm.0118.0000098.
4. Павлов, А. С. Методика планирования траектории движения группы мобильных роботов в неизвестной замкнутой среде с препятствиями / А. С. Павлов // Системы управления, связи и безопасности. — 2021. — № 3. — С. 1–25.
5. Пшихопов, В. Х. Управление мобильными роботами в недетерминированных средах / В. Х. Пшихопов, М. Ю. Медведев. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. — 245 с. — ISBN 978-5-7890-1678-9.
6. Татаринов, И. В. Анализ рынка складской робототехники и перспективы развития / И. В. Татаринов, А. В. Лукьянова // XI Международная научно-практическая заочная конференция «ЭТАП-2024»: сб. тр. — Набережные Челны: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2024. — С. 1129–1136.
7. Fiorini, P. Motion Planning in Dynamic Environments Using Velocity Obstacles / P. Fiorini, Z. Shiller // International Journal of Robotics Research. — 1998. — Vol. 17, No. 7. — P. 760–772.
8. Fox, D. The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance / D. Fox, W. Burgard, S. Thrun // IEEE Robotics & Automation Magazine. — 1997. — Vol. 4, No. 1. — P. 23–33.

9. Hart, P. E. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths / P. E. Hart, N. J. Nilsson, B. Raphael // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. — 1968. — Vol. 4, No. 2. — P. 100–107.
10. Kavraki, L. E. Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High-Dimensional Configuration Spaces / L. E. Kavraki, P. Švestka, J.-C. Latombe, M. H. Overmars // IEEE Transactions on Robotics and Automation. — 1996. — Vol. 12, No. 4. — P. 566–580.
11. Khatib, O. Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots / O. Khatib // International Journal of Robotics Research. — 1986. — Vol. 5, No. 1. — P. 90–98.
12. Koenig, S. D* Lite / S. Koenig, M. Likhachev // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. — 2002. — P. 476–483.
13. LaValle, S. M. Rapidly-Exploring Random Trees: A New Tool for Path Planning: Tech. Report 98–11 / S. M. LaValle. — Iowa State University, 1998.
14. Mohanan, M. G. A Survey of Robotic Motion Planning in Dynamic Environments / M. G. Mohanan, A. Salgoankar // Robotics and Autonomous Systems. — 2018. — Vol. 100. — P. 171–185.
15. Phillips, M. SIPP: Safe Interval Path Planning for Dynamic Environments / M. Phillips, M. Likhachev // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. — 2011. — P. 5628–5635.
16. Stentz, A. Optimal and Efficient Path Planning for Partially-Known Environments / A. Stentz // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. — 1994. — P. 3310–3317.
17. van den Berg, J. Reciprocal n-Body Collision Avoidance / J. van den Berg, S. J. Guy, M. Lin, D. Manocha // Proceedings of the International Symposium on Robotics Research. — 2011. — P. 3–19.
18. Wurman, P. R. Coordinating Hundreds of Cooperative, Autonomous Vehicles in Warehouses / P. R. Wurman, R. D'Andrea, M. Mountz // AI Magazine. — 2008. — Vol. 29, No. 1. — P. 9–20.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Брендинг бизнес-центра как инструмент развития малого моногорода на примере г. Урая

Афанасьева Дарья Игоревна, студент магистратуры

Научный руководитель: Власова Мария Федоровна, кандидат экономических наук, доцент
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

В статье рассматривается потенциал брендинга коммерческой недвижимости как инструмента социально-экономического развития малого моногорода. На примере города Урай анализируется текущая ситуация на рынке офисной недвижимости, выявляется дефицит качественных коммерческих помещений и высокий нереализованный спрос со стороны экономически активного населения. На основе данных опроса (n=15) и SWOT-анализа территории обосновывается стратегия эксклюзивного брендинга бизнес-центра. Автор приходит к выводу, что создание первого в городе офисного центра класса «В» с комплексным сервисом не только закрывает рыночную нишу, но и становится драйвером удержания населения, развития малого и среднего предпринимательства и формирования новой идентичности городского пространства.

Ключевые слова: брендинг территорий, малый город, девелопмент, бизнес-центр, Урай, офисная недвижимость.

Проблема развития малых моногородов остаётся одной из острых для российской региональной экономики. Согласно классификации, к моногородам относятся населённые пункты, экономика которых зависит от одного градообразующего предприятия [5]. Город Урай в Ханты-Мансийском автономном округе — классический пример такого поселения: нефтегазовый сектор формирует 64,2 % валового продукта, а ключевым работодателем выступает компания «Лукойл» [2]. Основные вызовы Урая — отток населения (рост отрицательной миграции на 25 %), низкая доля малого и среднего предпринимательства (26,3 % занятых) и дефицит качественной коммерческой инфраструктуры.

В этих условиях особую актуальность приобретает поиск инструментов диверсификации экономики и повышения привлекательности города для жителей и бизнеса. Одним из таких инструментов может стать брендинг коммерческой недвижимости — в частности, создание и продвижение первого в городе современного бизнес-центра.

Цель данной статьи — обосновать роль брендинга бизнес-центра как инструмента развития малого моногорода на примере Урая.

В задачи исследования входит: анализ текущей ситуации на рынке офисной недвижимости, выявление потребностей целевой аудитории, разработка стратегии брендинга и оценка её потенциала для решения социально-экономических проблем территории.

Гипотеза исследования заключается в том, создание и брендинг первого в малом моногороде современного

бизнес-центра с комплексным сервисом (коворкинг, кафе, фитнес, переговорные) позволяет не только закрыть дефицит качественных коммерческих помещений, но и стать драйвером удержания населения, развития малого и среднего предпринимательства и формирования новой идентичности территории.

Методология исследования — Нормативно-правовой анализ, опрос целевой аудитории, стратегический анализ, сравнительный.

В современной науке брендинг территории понимается как «деятельность по формированию и долгосрочному управлению репутацией места, направленная на создание устойчивых позитивных ассоциаций у целевых аудиторий». И. С. Важенина подчёркивает, что бренд территории складывается из уникальных характеристик, которые получают общественное признание [2].

Однако в малых моногородах традиционные инструменты территориального брендинга (слоганы, фестивали, продвижение туристических брендов) часто работают ограниченно из-за отсутствия ресурсов и слабого внешнего туристического потока. Альтернативой может стать «точечный» подход — брендинг конкретного объекта недвижимости, который постепенно формирует новый образ всей территории.

В данном исследовании мы исходим из предположения, что брендинг бизнес-центра в малом моногороде выполняет три функции:

– Экономическую — привлечение арендаторов и инвесторов, повышение арендных ставок.

– Социальную — создание качественных рабочих мест, удержание молодёжи.

– Имиджевую — формирование новой идентичности локации, разрыв стереотипа «сырьевой придаток».

SWOT-анализ города (табл. 1) выявил ключевое противоречие: при высоком уровне доходов населения (средняя зарплата — 68,4 тыс. руб., 40 % работающих получают более 100 тыс. руб.) и качественной городской среде (244 балла из 360 в рейтинге Минстроя) наблюдается острый дефицит качественных коммерческих помещений. 95 % офисов относятся к классу «С» (расположены в жилых

домах, не имеют современных инженерных систем), а помещения класса «В» и «А» на рынке отсутствуют [2]. Текущий дефицит качественных офисов оценивается в 1500 кв. м.

Одновременно с этим фиксируется отток населения (миграция выросла на 25 %) и низкая доля малого и среднего бизнеса (26,3 % занятых при среднероссийском уровне около 35 %). Это создаёт порочный круг: нет качественной инфраструктуры для бизнеса — бизнес не развивается — люди уезжают — спрос на инфраструктуру падает.

Таблица 1. SWOT-анализ города Урай

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
S1. Высокий уровень доходов населения Средняя заработная плата в Урае — 68,4 тыс. руб. (рост 4,91 % в год). 40 % работающих граждан имеют зарплату выше 100 тыс. руб., доля с доходом ниже 30 тыс. руб. — лишь 1,7 % [4]	W1. Демографический спад и отток населения Сокращение численности населения на 0,72 % за год, увеличение отрицательной миграции на 25 %. Смертность превышает рождаемость [7]
S2. Высокое качество жизни и социальная поддержка ХМАО входит в топ-10 регионов по качеству жизни (66,1 балла из 84,1), в топ-5 по благосостоянию семей (остаток после расходов — 106 тыс. руб.) [5]	W2. Моноотраслевая структура экономики Нефтегазовый сектор доминирует в структуре ВРП, составляя 64,2 % от общего объема. Зависимость от цикличности отрасли [7]
S3. Высокая оценка городской среды Урай набрал 244 балла из 360 возможных в рейтинге качества городской среды. Высокие показатели улично-дорожной сети и социально-досуговой инфраструктуры [6]	W3. Низкая доля малого и среднего бизнеса Доля занятых в МСБ — 26,3 % от экономически активного населения (81-е место среди регионов РФ) [5]
S4. Поддержка градообразующего предприятия «Лукойл» является ключевым инвестором и работодателем, участвует в благоустройстве города, поддержке спортивных и культурных объектов [4]	W4. Дефицит качественных коммерческих помещений 95 % офисных помещений относятся к классу «С». Помещения класса «В» и «А» на рынке отсутствуют. Текущий дефицит качественных офисов — 1500 кв.м
S5. Развитая социальная инфраструктура. Завершается строительство новой школы на 900 мест (готовность 95 %) и нового стационара больницы (готовность 97 %) [5]	W5. Износ инженерных сетей Высокий износ систем водоснабжения, канализации, теплосетей требует постоянной модернизации [7]
S6. Статус «города первой нефти» Исторический центр Западно-Сибирской нефтедобычи, что создает базу для развития промышленного туризма [4]	W6. Ограниченная пропускная способность дорог Улица Первооткрывателей в часы пик испытывает повышенную нагрузку, особенно при добавлении трафика от новых объектов
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
O1. Формирование опорных проектов до 2030 года Стратегия развития города до 2036 года включает перечень приоритетных инвестиционных проектов, что создает плановую основу для девелоперской деятельности [6]	T1. Демографический кризис и отток молодежи Продолжающееся сокращение населения и миграционный отток снижают рынок труда и потребительский спрос [7]
O2. Расселение аварийного жилья и реновация За 5 лет расселено более 1000 семей, снесено 25 тыс. кв.м аварийного фонда. Программа «волнового сноса» освобождает территории под новую застройку [7]	T2. Риски весенних паводков и подтоплений Территория города находится в зоне риска подтоплений из-за заболоченных участков, что создает опасность в период паводков [10]
O3. Развитие малого и среднего предпринимательства Низкая база МСБ означает потенциал роста. Новые коммерческие центры могут стать драйвером предпринимательской активности [4]	T3. Снижение инвестиционной активности «Лукойла» Моноэкономическая модель создает риски при изменении корпоративной стратегии градообразующего предприятия или колебаниях цен на нефть [4]
O4. Политическая поддержка на уровне региона Губернатор ХМАО Руслан Кухарук (уроженец Урая) лично курирует развитие города, пообещав «открыть второе дыхание» малой родине [9]	T4. Экологические риски Индекс загрязнения атмосферы превышает допустимые нормы на 25 % из-за нефтедобычи [10]

Таблица 1 (продолжение)

Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
05. Ремонт и расширение дорожной сети Запланирован ремонт 19 км дорог, замена грунтового покрытия на асфальт на 18 км, проектирование расширения трассы «Тюмень — Ханты-Мансийск» [8]	Т5. Ухудшение макроэкономической конъюнктуры Инфляция на конец 2024 года — 9,5 %, высокие процентные ставки снижают инвестиционную активность [7]
06. Строительство новых социальных объектов Запуск новой школы и больницы повысит привлекательность города для семей с детьми и квалифицированных кадров [5]	Т6. Транспортная изоляция Отдаленность от федеральных трасс и железной дороги, зависимость от авиасообщения и сезонных дорог [10]

В опросе приняли участие 15 человек, из которых 60 % — офисные сотрудники, 20 % — предприниматели, 20 % — студенты. 80 % респондентов проживают в Урае более 5 лет (укоренённая аудитория).

Основные результаты:

- Текущий комфорт работы — 6,1 балла из 10. Это зона «терпимо, но не комфортно»: люди не в отчаянии, но и не довольны.
- Привлекательность концепции (офис + коворкинг + кафе + фитнес) — 9,0 баллов. 80 % респондентов оценили её на 9–10 баллов. Это самый высокий показатель.
- Готовность переехать в новый офисный центр при лучших условиях — 8,5 балла. 86,7 % респондентов оценили готовность на 8–10 баллов.
- Наиболее важные качества — удобное расположение (20,3 %), развитая инфраструктура (кафе, фитнес) — 15,6 %, доступная стоимость аренды (12,5 %). Парковка оказалась на 5-м месте (10,9 %).
- Решающие факторы расположения — близость к дому (22,7 %) и транспортная доступность (22,7 %).

Ключевой вывод опроса: рынок находится в состоянии «тихого голода» по качественной офисной среде. Люди не бегут из текущих офисов в панике (6,1 балла), но при появлении принципиально нового продукта готовы переезжать массово (8,5 балла). Это идеальная точка для запуска эксклюзивного продукта, создающего новую категорию.

Используя матрицу Джона Гранта (рис. 1), автор выбрал стратегию эксклюзивности. Эта стратегия предполагает создание нового продукта, у которого нет прямых конкурентов на рынке, что позволяет занять монопольное положение и диктовать условия.

В контексте Урая это означает:

- Создание первого в городе офисного центра класса «В»
- Предложение первого в городе комплексного сервиса (коворкинг, кафе, фитнес, переговорные)
- Формирование новой категории — «офис, где хочется работать»
- Эксклюзивная стратегия не требует борьбы за долю рынка с существующими офисами класса «С» — она создаёт новый рынок.

Классификация новых идей для создания бренда

	Личностные идеи	Групповые идеи	Социальные идеи	Институциональные идеи
Новые традиции	Привычные идеи	Зрелищные идеи	Лидерские идеи	Организационные идеи
Системы убеждений	Когнитивные идеи	Идеи ценителей	Идеи веры	Идеи атласа
Время	Регрессивные идеи	Идеи настоящего	Ностальгические идеи	Календарные идеи
Стадные инстинкты	Идеи инициации	Идеи толпы	Идеи клана	Идеи повальных увлечений
Связующие идеи	Соавторство	Социализация	Сотрудничество	Местное сообщество
Роскошь	Идеи консьержа	Идеи изобилия	Эксклюзивные идеи	Экзотические идеи
Провокации	Эротические идеи	Ослабляющие идеи	Скандальные идеи	Радикальные идеи
Контроль	Персонализированные идеи	Контролирующие идеи	Идеи соперничества	Идеи градации

Источник: авторский, Дж. Грант «Манифест инноваций бренда» [1].

Рис. 1. Матрица Матрица Джона Гранта

Результаты исследования позволяют выделить три механизма влияния брендинга бизнес-центра на развитие малого моногорода.

Удержание населения через качественную занятость. Отток населения из Урая (особенно молодёжи) связан не только с низкими доходами (доходы, наоборот, высоки), а с отсутствием качественной среды для самореализации. Современный бизнес-центр, предлагающий комфортные условия работы, становится фактором удержания квалифицированных кадров, которые раньше уезжали в Тюмень, Ханты-Мансийск или Екатеринбург.

Развитие малого и среднего предпринимательства. Низкая доля МСБ в Урае (26,3 %) — не следствие отсутствия предпринимательской инициативы, а следствие отсутствия инфраструктуры. Коворкинги, переговорные, гибкие форматы аренды (почасовая, краткосрочная) снижают порог входа для стартапов и малых компаний. Брендированный бизнес-центр становится видимым символом того, что в городе можно вести современный бизнес.

Формирование новой идентичности территории. В моногородах, зависимых от одной отрасли, часто формируется негативный стереотип: «здесь нет ничего, кроме нефти». Появление эксклюзивного объекта (первый бизнес-центр класса «В», первый коворкинг, первый офис с фитнесом) ломает этот стереотип. Бренд «Unique Work Space» работает на бренд всего города: Урай перестаёт восприниматься как «нефтяная помойка» и начинает ассоциироваться с современностью, комфортом и возможностями.

Литература:

1. Анхольт С. Брендинг: место, идентичность, репутация // Брендинг территорий. Лучшие мировые практики. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2010. — С. 15–34.
2. Важенина И. С. О сущности бренда территории // Экономика региона. — 2011. — № 3. — С. 18–23.
3. Публичная кадастровая карта Электронный ресурс // Росреестр: сайт. — URL: (дата обращения: 02.04.2025).
4. Официальный сайт города Урай Электронный ресурс. — URL: (дата обращения: 01.04.2025).
5. Рейтинг социально-экономического положения регионов — 2024 [Электронный ресурс] // РИА Рейтинг. — URL: <https://riarating.ru/infografika/20240528/630254192.html> (дата обращения: 02.04.2026).
6. РИА Рейтинг Электронный ресурс // сайт. — URL: (дата обращения: 07.10.2025).
7. Федеральная служба государственной статистики Электронный ресурс // Официальный сайт. — URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 27.03.2026).
8. Муниципальная программа «Развитие транспортной системы города Урай» на 2021–2030 годы // Официальный сайт города Урай. — URL: <https://uray.ru/activity/3108/> (дата обращения: 02.04.2026).
9. Муниципальная программа «Развитие транспортной системы города Урай» на 2021–2030 годы // Официальный сайт города Урай. — URL: <https://uray.ru/activity/3108/> (дата обращения: 02.04.2026).
10. Муниципальная программа «Развитие транспортной системы города Урай» на 2021–2030 годы // Официальный сайт города Урай. — URL: <https://uray.ru/activity/3108/> (дата обращения: 02.04.2026).

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы:

Малый моногород Урай обладает высоким нереализованным спросом на качественную офисную среду. При высоких доходах населения рынок коммерческой недвижимости находится в архаичном состоянии (95 % офисов класса «С»).

Эксклюзивная стратегия брендинга (по матрице Джона Гранта) является наиболее адекватной для данной ситуации. Создание первого в городе бизнес-центра класса «В» с комплексным сервисом позволяет занять монопольное положение и не вступать в прямую конкуренцию с существующими офисами.

Брендинг бизнес-центра может стать драйвером развития моногорода через три механизма: удержание населения (качественная занятость), развитие МСБ (инфраструктура для стартапов) и формирование новой идентичности территории (преодоление стереотипа «сырьевой придаток»).

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенная модель брендинга может быть адаптирована для других малых моногородов России, сталкивающихся с аналогичными проблемами оттока населения и дефицита качественной коммерческой инфраструктуры.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой методики количественной оценки влияния брендинга бизнес-центра на экономические показатели территории (арендные ставки, заполняемость, налоговые поступления) и с расширением выборки для сравнительного анализа нескольких моногородов.

Применение BIM-технологий при реконструкции зданий

Медведь Данил Денисович, студент магистратуры
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

В данной статье рассматривается применение технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM) для реконструкции зданий. Проанализирован отечественный опыт применения BIM-технологий и лазерного сканирования при реконструкции промышленных объектов и памятников архитектуры. Обоснована эффективность использования цифровых двойников для выявления коллизий, оптимизации междисциплинарного взаимодействия и снижения рисков в стесненных условиях.

Ключевые слова: BIM-технологии, реконструкция зданий, оптимизация процессов, информационное моделирование зданий, эффективность проектирования.

Application of BIM technologies to optimize building reconstruction processes: identification of problems and development prospects

Medved Danil Denisovich, master's student
Far Eastern Federal University (Vladivostok)

This article explores the application of Building Information Modeling (BIM) technologies in the context of building reconstruction. It analyzes Russian practical experience in implementing BIM and laser scanning for the renovation of industrial facilities and architectural heritage sites. The study demonstrates the effectiveness of using digital twins to identify design conflicts (clashes), optimize interdisciplinary coordination, and mitigate engineering risks in constrained environments.

Keywords: BIM technologies, building reconstruction, process optimization, building information modeling, design efficiency.

В последние десятилетия стремительный рост числа проектов, связанных с реконструкцией зданий, становится серьезным вызовом для архитектурной и строительной сферы. Реконструкция зданий и сооружений является достаточно сложной инженерной задачей, требующей использования знаний из различных областей строительной специальности (материаловедение, строительная механика, экономика строительства и др.).

К преимуществам использования технологий информационного моделирования зданий обычно относят повышение качества и скорости проектирования, снижение затрат и улучшение взаимодействия между специалистами.

Рассмотрим наиболее известные отечественные кейсы, использующие технологии информационного моделирования для модернизации и реконструкции существующих объектов.

Модернизация мощностей АО «Уралэлектромедь» [1]

В 2019 году ведущий российский производитель меди и драгоценных металлов, компания «Уралэлектромедь», инициировал программу цифровизации производства. Пилотным объектом стала реконструкция цеха, где готовят сырье для огневого рафинирования. Ключевой особенностью проекта стал отказ от традиционных методов обмера в пользу создания высокоточной цифровой копии здания.

В ходе сопоставления реальных замеров и старой документации вскрылась критическая ошибка: фактический шаг металлических ригелей не совпадал с проектным. Если бы это обнаружили на этапе монтажа сэндвич-панелей для утепления фасада, компания столкнулась бы с дорогостоящим простоем и необходимостью переделывать крепежные узлы.

Также созданная модель стала основой для проектирования новых коммуникаций от вентиляции и систем пожаротушения до тепловых завес и электросетей. Автоматическая проверка на коллизии позволила еще «на бумаге» устранить пересечения труб со строительными конструкциями. Кроме того, в модель внесли подробные спецификации оборудования, что упростило работу ремонтных служб, теперь механики могут мгновенно получить доступ к техпаспортам и схемам любого узла прямо из цифровой среды.

Реконструкция здания ПАО «Уралпромпроект» [2]

Проектный институт «Уралпромпроект», имеющий богатую историю проектирования сложных объектов для ракетно-космической отрасли, применил современные BIM-технологии для обновления собственного административного комплекса. Здание, возведенное в 1980-х годах, состоит из пятиэтажного инженерного корпуса с лабораторным пристроем и к моменту начала работ остро нуждалось в техническом перевооружении.



Рис. 1. Этапы формирования цифровой среды

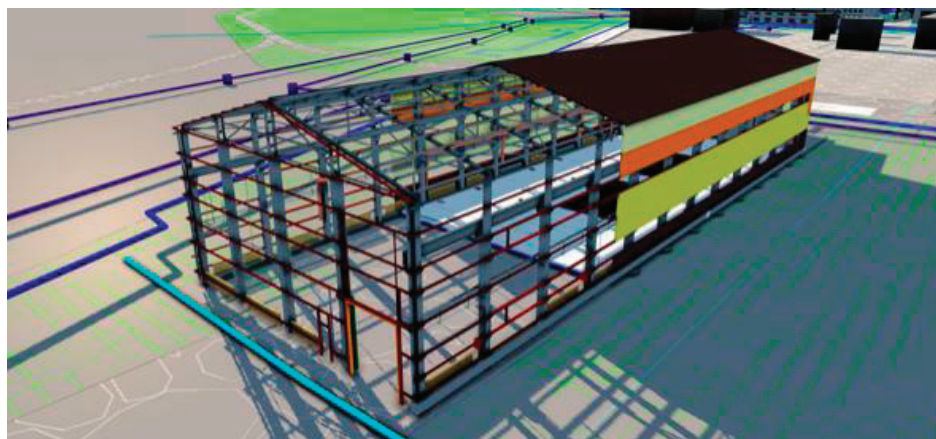


Рис. 2. Модель цеха подготовки сырья перед огневым рафинированием

Для разработки проекта использовалась отечественная система Renga. В ходе создания информационной модели были детально проработаны следующие аспекты:

— конструктивная схема. Воссоздан каркас из сборного железобетона, а жесткость конструкции обеспечена жестким защемлением колонн в фундаментных узлах и созданием единого диска покрытия из железобетонных плит;

— архитектура и сети. Помимо фасадных решений, в модель были интегрированы ключевые системы жизнеобеспечения: отопление, водоснабжение и канализация.

Использование цифрового двойника дало институту несколько практических преимуществ. Во-первых, модель позволила детально распределить новые функциональные зоны, учитывая ограничения существующего несущего каркаса. Во-вторых, стыковка новых инженерных сетей со старыми конструкциями прошла без накладок: все потенциальные пересечения (коллизии) были выявлены и устранены еще на этапе проектирования. И на основе данных из Renga был сформирован точный перечень материалов, необходимых для усиления узлов и возведения новых перегородок, что исключило ошибки в сметах и закупках.

Реконструкция старого оборудования Коченевского нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) [3]

Масштабное обновление нефтеперерабатывающей станции в Новосибирской области (поселок Коченево), стартовавшее в 2016 году, поставило перед инженерами сложную задачу — интегрировать современные технологические линии в существующую инфраструктуру на крайне ограниченной площади (всего 6 гектаров).

BIM-технологии использовали для:

- демонтажа старых конструкций;
- проектирования новых элементов;
- размещения оборудования;
- создания цифровой модели всего комплекса с информацией о каждом элементе.

Цифровая модель стала основным инструментом контроля качества проектных решений. Автоматический анализ выявил многочисленные пересечения проектируемых трубопроводов с существующими балками и колоннами, что исключило ошибки при монтаже. Также модель позволила безошибочно определить последовательность демонтажа устаревших конструкций и мест размещения нового оборудования в условиях дефицита пространства.

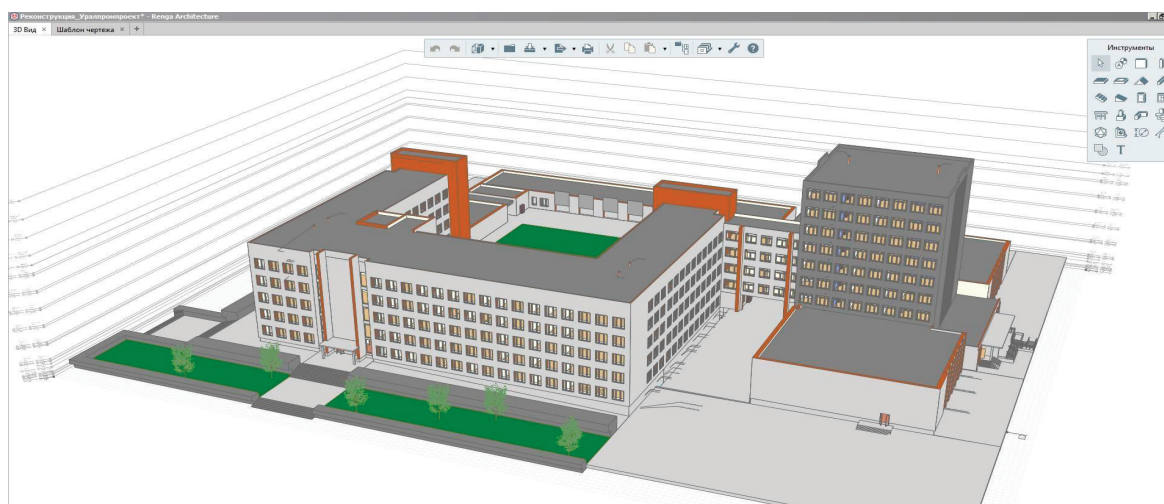


Рис. 3. Информационная модель ПАО «Уралпромпроект», созданная в Renga



Рис. 4. Ключевые этапы работ по созданию цифровой информационной модели завода

Реконструкция инженерных сетей Свято-Троицкой Сергиевой лавры [4]

Свято-Троицкая Сергиева лавра — это объект культурного наследия федерального значения под охраной ЮНЕСКО. Реконструкция инженерных систем в лавре потребовала ювелирного подхода: перед инженерами стояла задача обновить наружные сети, тепловые пункты и узлы учета, не нарушив при этом исторический облик и целостность памятника.

Сложность архитектуры и жесткие охранные обязательства исключали традиционные методы замеров. Вместо них была реализована комплексная цифровая фиксация.

Специалисты с помощью лазерного сканирования обследовали более 100 помещений. Полученное облако точек легло в основу BIM-модели.

Панорамная фотофиксация использовалась для верификации данных и проведения контрольных измерений; в зонах со сложной геометрией использовались круговые фотопанорамы, дополняющие данные сканера.

Параллельно с проектированием новых систем также велось детальное моделирование уже существующих подземных и внутривоздушных коммуникаций.

Цифровая модель позволила безошибочно определить места для установки тепловых и водомерных узлов в стесненных условиях. Точная привязка новых трасс к существующим сетям в единой информационной среде минимизировала риск случайных повреждений при проведении земляных и монтажных работ. А наложение проектных решений на облако точек обеспечило наглядность и позволило согласовать прокладку коммуникаций без ущерба для исторической эстетики зданий.

Ниже представлена таблица 1, объединяющая все четыре кейса.

Подводя итог, можно выделить общие закономерности и ключевые преимущества, которые дает внедрение BIM-технологий при реконструкции объектов различного назначения:

Ликвидация ошибок проектирования. Во всех случаях создание цифрового двойника позволило выявить критические расхождения между старыми чертежами

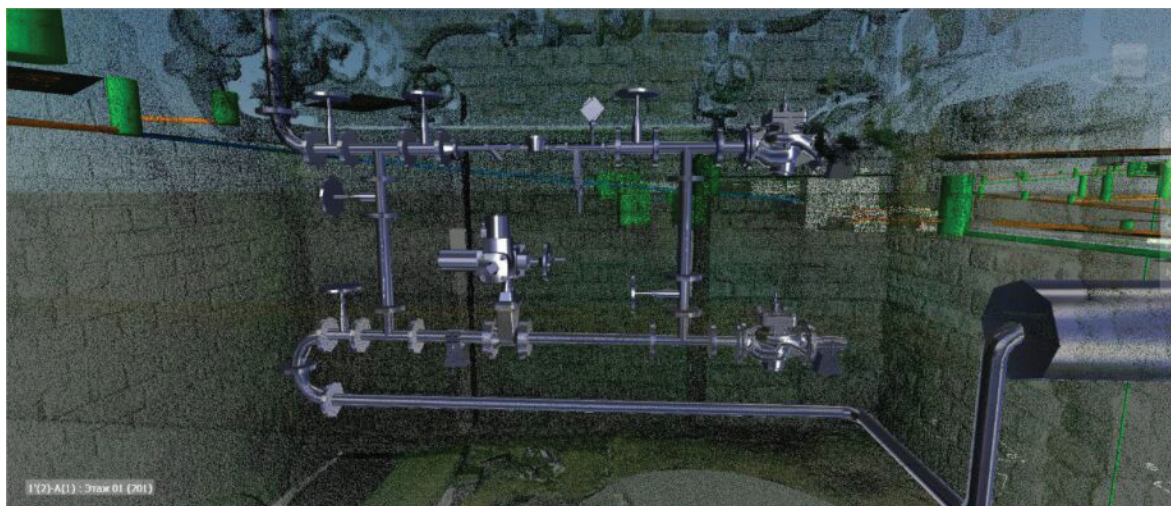


Рис. 5. Моделирование объектов в облаке точек помещения

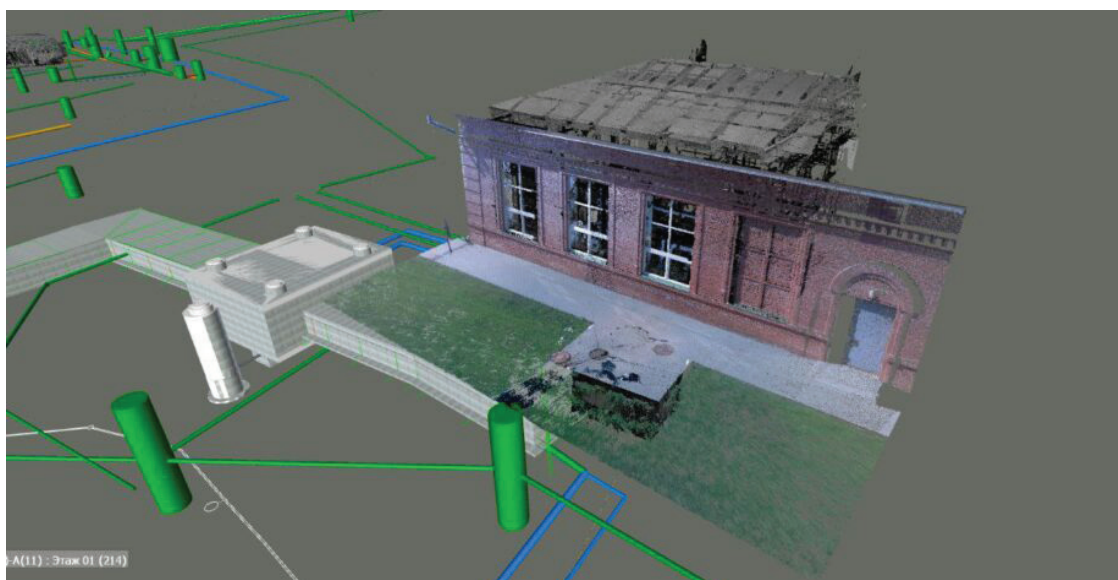


Рис. 6. Моделирование объектов в облаке точек снаружи здания

Таблица 1

Объект реконструкции	ПО	Основная техническая проблема	Практический результат
АО «Уралэлектромедь» (Цех подготовки сырья)	Leica, ReCap, Revit, Navisworks	Расхождение фактического шага ригелей с архивными чертежами	Исключение простоев при монтаже панелей; база данных для механиков
ПАО «Уралпромпроект» (Проектный институт)	Renga	Необходимость сложной перепланировки в старом железобетонном каркасе 1980-х годов	Точный расчет материалов на усиление; устранение коллизий сетей и каркаса
Коченевский НПЗ (Нефтеперерабатывающая станция)	ReCap, Revit	Дефицит площади (6 гектаров) и плотная сеть существующих трубопроводов	Безошибочный демонтаж и монтаж новых линий в стесненных условиях
Свято-Троицкая Сергиева лавра (объект ЮНЕСКО)	Лазерное сканирование, фотопанорамы 360°	Интеграция современных узлов учета в памятник архитектуры	Сохранность исторического облика при обновлении сетей и тепловых пунктов

и реальной ситуацией. Это исключило дорогостоящие переделки на этапе монтажа.

Эффективность в стесненных условиях. Технологии (лазерное сканирование, облака точек) доказали свою незаменимость на объектах с дефицитом площади или сложной исторической застройкой (Коченевский НПЗ, Свято-Троицкая Сергиева лавра). BIM позволяет «вписать» новое оборудование в существующую среду с точностью до миллиметра.

Минимизация рисков для существующих конструкций. Автоматическая проверка на коллизии гарантирует, что новые инженерные сети не нарушат прочность несущего каркаса (как в случае с «Уралпромпроектом») и не повредят скрытые исторические коммуникации.

Прозрачность смет и эксплуатации. Точный расчет объемов материалов на основе модели снижает издержки при закупках, а насыщенность модели данными создает надежный фундамент для дальнейшей эксплуатации и оперативного ремонта оборудования.

Как видно, применение BIM-технологий в реконструкции зданий является большим шагом в цифровой трансформации строительной отрасли. Эти технологии позволяют повысить точность проектирования, минимизировать ошибки, оптимизировать ресурсы и улучшить взаимодействие участников проекта. Примеры успешных проектов, рассмотренных в статье, подтверждают преимущества и эффективность BIM в решении сложных задач.

Литература:

1. BIM для эксплуатационных моделей и реконструкции. Промышленный гигант «Уралэлектромедь» добился роста производительности на 6 % благодаря внедрению BIM [Электронный ресурс] // Цифровизация промышленности : [сайт]. — URL: <https://prombim.csd.ru/upload/iblock/c85/Уралэлектромедь.pdf>
2. Применение BIM-системы Renga для реконструкции здания проектного института и проектирования производственного здания. Опыт ПАО «Уралпромпроект» [Электронный ресурс] // Renga : [сайт]. — URL: <https://rengabim.com/experience-of-users/primenenie-bim-sistemy-renga-dlya-rekonstrukcii-zdaniya-proektnogo-instituta-opyt-pao-uralpromproekt/>
3. Проекты BIM в нефтехимической и газовой промышленности [Электронный ресурс] // ПСС ГРАЙТЕК [сайт]. — URL: <https://pssbim.ru/realizovanniye-projecty/Neftehimicheskaya-gazovaya-promyshlennost/>
4. Как BIM и лазерное сканирование спасают при реконструкции и реставрации исторических зданий [Электронный ресурс] // Цифровое строительство [сайт]. — URL: <https://digital-build.ru/kak-bim-i-lazernoe-skanirovanie-spasayut-pri-rekonstrukczii-i-restAVRACZII-ISTORICHESKIH-ZDANIJ>

МЕДИЦИНА

Влияние терагерцевого излучения на организм человека: механизмы, биоэффекты и прикладное значение

Барыбина Елена Сергеевна, студент;

Ковалева Дарья Андреевна, студент

Научный руководитель: Репалова Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, доцент
Курский государственный медицинский университет

Возрастающий интерес к терагерцевому (ТГц) излучению в биомедицине обусловлен его уникальным положением в электромагнитном спектре и спецификой взаимодействия с живыми системами. Низкая энергия фотонов ТГц-диапазона (0.4–40 мэВ) исключает ионизирующее повреждение ДНК, что принципиально отличает его от рентгеновского излучения и открывает возможности для многократного применения в диагностике и терапии. При этом энергия ТГц-квантов совпадает с энергией низкочастотных коллективных колебаний биологических макромолекул: вращательных мод воды, водородных связей белков, конформационных движений ДНК. Это создает основу для резонансного (нетеплового) воздействия наряду с тепловым эффектом, связанным с поглощением энергии дипольными молекулами воды. В настоящем обзоре систематизированы современные данные о механизмах влияния ТГц-волн на организм на молекулярном, клеточном и системном уровнях. Отдельное внимание уделено вопросам биобезопасности, проблеме нетепловых эффектов и необходимости метрологической стандартизации для клинического внедрения ТГц-технологий. Показано, что терагерцевая медицина, основанная на биофизических принципах взаимодействия излучения с тканями, представляет собой перспективное направление прецизионной диагностики и персонализированной терапии.

Ключевые слова: терагерцевое излучение, Т-волны, физиологический эффект, воспалительный процесс, ТГц-диагностика, ТГц-терапия, инновационные методы.

The influence of terahertz radiation on the body: mechanisms, bioeffects and applied significance

The growing interest in terahertz (THz) radiation in biomedicine is due to its unique position in the electromagnetic spectrum and the specifics of interaction with living systems. The low energy of THz photons (0.4–40 MeV) eliminates ionizing DNA damage, which fundamentally distinguishes it from X-ray radiation and opens up opportunities for repeated use in diagnosis and therapy. At the same time, the energy of THz quanta coincides with the energy of low-frequency collective vibrations of biological macromolecules: rotational modes of water, hydrogen bonds of proteins, and conformational movements of DNA. This creates the basis for resonant (non-thermal) effects along with the thermal effect associated with the absorption of energy by dipole water molecules. This review systematizes current data on the mechanisms of the effect of THz waves on the body at the molecular, cellular and systemic levels. Special attention is paid to issues of biosafety, the problem of non-thermal effects and the need for metrological standardization for the clinical implementation of THz technologies. It is shown that terahertz medicine, based on the biophysical principles of radiation interaction with tissues, is a promising area of precision diagnostics and personalized therapy.

Keywords: terahertz radiation, T-waves, physiological effect, inflammatory process, THz diagnostics, THz therapy, innovative methods.

Введение

Терагерцевый (ТГц) диапазон (0.1–10 ТГц), находящийся на стыке электроники и фотоники, привлекает все большее внимание исследователей в области биологии

и медицины [4,7,16]. Интерес обусловлен двумя ключевыми факторами. Во-первых, низкая энергия фотонов ТГц-излучения ($\approx 0.4\text{--}40$ мэВ) гарантирует отсутствие ионизирующего эффекта, что делает его безопасным для живых систем в отличие от рентгеновского излучения [3,

46]. Во-вторых, эта энергия совпадает с энергией многих важных для жизнедеятельности процессов: вращательных переходов молекул воды, колебаний водородных связей, низкочастотных коллективных мод белков и ДНК [15, 21, 49]. Это создает предпосылки для высокоспецифичного, резонансного взаимодействия, позволяющего получать уникальную спектральную информацию о состоянии тканей — так называемые «ТГц-отпечатки» [26, 27, 32].

Таким образом, терагерцевое излучение занимает уникальное положение в арсенале биомедицинских технологий, выполняя одновременно функцию высокочувствительного диагностического зонда для неинвазивной оценки состояния тканей и роль активного терапевтического агента, способного направленно модулировать клеточные функции [20, 32, 36].

Цель данной работы — систематизировать и обобщить современные научные данные о механизмах воздействия ТГц излучения на биологические объекты различных уровней организации, а также проанализировать основные направления его медицинского применения.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели был проведен анализ российской и зарубежной литературы. Поиск научных публикаций осуществлялся в базах данных PubMed, eLibrary и Scopus с использованием следующих ключевых слов: терагерцевое излучение, биологические эффекты, ТГц-диагностика, ТГц-терапия, медицинские применения. В обзор включены статьи, опубликованные преимущественно в период с 2016 по 2025 гг., а также фундаментальные работы более раннего периода, имеющие ключевое значение для понимания темы. Отбор материалов проводился с акцентом на исследования, рассматривающие механизмы взаимодействия ТГц-волн с биологическими структурами и их клиническое применение.

Результаты. На основании проведенного анализа литературы можно выделить три ключевых уровня воздействия ТГц-излучения на организм, которые определяют спектр его медицинских приложений: молекулярно-клеточные механизмы, тканевые и системные эффекты.

Первичные механизмы воздействия связаны с поглощением энергии конкретными молекулярными структурами [15, 21]. Ключевую роль здесь играет вода: поглощение ТГц-волн дипольными молекулами воды ведет к их колебательному возбуждению и локальному нагреву [3, 49]. Эффективность этого процесса зависит от состояния воды (свободная или связанная), что используется в диагностике для оценки гидратации тканей [31, 45, 49]. Помимо теплового эффекта, предполагается наличие резонансного (нетеплового) компонента. Частоты ТГц-диапазона могут совпадать с частотами внутримолекулярных колебаний биополимеров: крутильных колебаний ДНК, деформаций водородных связей в белках [15, 49]. Теоретически это способно индуцировать обратимые конформационные изменения, влияя на ферментативную активность [7, 21]. Исследования под руководством О. П. Черкасовой и Е. А. Бутиковой (2025)

году показывают, что такое воздействие может сказываться на функциях митохондрий и экспрессии генов [15, 21]. Кроме того, выдвигаются гипотезы о влиянии ТГц-поля на ионные каналы и мембранные рецепторы, опосредованном через гидратные оболочки или прямое взаимодействие с белковыми структурами [10, 21, 49]. Под действием ТГц-излучения изменяется проницаемость клеточных мембран, что наиболее выражено для ионов кальция (Ca^{2+}), калия (K^+) и натрия (Na^+). Эти изменения связаны с конформационной перестройкой ионных каналов под влиянием резонансного воздействия либо с изменением гидратации липидного бислоя, что влияет на возбудимость клеток и внутриклеточную сигнализацию [10, 15, 21, 49]. На молекулярном уровне формируются предпосылки для изменений, которые реализуются на следующем, клеточном уровне.

Молекулярные изменения запускают каскад клеточных реакций. Эксперименты *in vitro*, проведенные группами под руководством О. П. Черкасовой и Е. А. Бутиковой (2025), демонстрируют, что облучение в определенных режимах может модифицировать пролиферативную активность, метаболизм и экспрессию генов, в том числе отвечающих за стресс-ответ и апоптоз [10, 15, 21, 49]. Выраженность этих эффектов сильно зависит от параметров облучения (частота, мощность, время) и типа клеток, а их природа (чисто тепловая или резонансная) остается предметом дискуссий [7, 15, 49].

Интегральным результатом клеточных и молекулярных сдвигов являются изменения на уровне целого организма. Наиболее изучены влияния ТГц-излучения на иммунную систему (модуляция воспалительного ответа, активация макрофагов), нервную систему (изменение биоэлектрической активности нейронов, поведенческих реакций), сердечно-сосудистую систему (регуляция сосудистого тонуса, улучшение микроциркуляции), а также на кровеносную систему, где эффекты опосредованы воздействием на эндотелий и систему оксида азота [6, 8, 10, 19, 20, 22, 30, 34].

Одним из наиболее клинически значимых эффектов является модуляция сосудистого тонуса. Предполагается, что он связан с резонансным воздействием на молекулы оксида азота (NO) — ключевого вазодилатора [8, 22, 34]. Улучшение микроциркуляции и перфузии тканей лежит в основе терапевтического действия при ишемических состояниях, отеках и для ускорения заживления [6, 20, 30].

Зафиксировано влияние ТГц-излучения на биоэлектрическую активность нейронов и синаптическую передачу, что выражается в изменении паттернов нейрональной активности [10, 41]. В работах В. В. Кирьяновой с соавт. (2014) показано, что у животных после хронического низкоинтенсивного облучения наблюдались изменения поведенческих реакций: снижение показателей тревожности и депрессивноподобного поведения в тестах «открытое поле» и «принудительное плавание» [10, 19].

Клинические данные, полученные коллективами под руководством Ю. П. Солдатова и Г. Н. Филимоновой

(2019), свидетельствуют о способности ТГц-терапии модулировать воспаление, стимулировать регенерацию костной и мышечной ткани. Это достигается за счет комплексного воздействия: улучшения локального кровоснабжения и прямой активации фибробластов и остеобластов [6, 13, 18, 35].

Таким образом, описанные системные эффекты формируют базу для клинического применения ТГц-излучения, которое реализуется в двух основных направлениях: диагностике и терапии.

Диагностические возможности ТГц-излучения основаны на его высокой чувствительности к содержанию воды и структурным особенностям тканей, что позволяет выявлять патологические изменения без индукции значимых биоэффектов [3, 46, 49]. Опухолевая ткань отличается повышенной гидратацией и измененной микроструктурой, что усиливает поглощение и рассеяние ТГц-волн, создавая контраст на изображении. Это позволяет выявлять рак кожи, молочной железы и гортани [38, 40, 42, 43, 44, 47, 48].

Степень ожога коррелирует с обезвоживанием и денатурацией коллагена. ТГц-визуализация, чувствительная к содержанию воды и поляризационным свойствам дермы, позволяет точно определить глубину поражения *in vivo* [2, 37, 45, 47].

Различия в гидратации между глиомой и здоровой тканью мозга позволяют рассматривать ТГц-зондирование как метод интраоперационного определения границ опухоли [41, 50]. В офтальмологии метод используется для оценки гидратации роговицы и склеры [5, 31].

Высокая чувствительность к воде дает возможность бесконтактно регистрировать физиологические параметры: дыхание (по движению грудной клетки), пульс, а также динамику отека или обезвоживания [1, 5, 31, 39, 45].

В отличие от диагностики, где излучение выступает в роли пассивного зонда, терапевтическое направление предполагает активное воздействие на ткани [11, 20, 32]. Наиболее значимые результаты в этой области получены в таких направлениях как травматология и ортопедия: облучение способствует уменьшению боли, отека, ускоряет консолидацию переломов и регенерацию мягких тканей [6, 12, 13, 18, 35].

В неврологии в комплексе с другими методами ТГц-терапия применяется у пациентов с последствиями инсульта и ЧМТ, способствуя регрессу неврологического дефицита. Механизмы связывают с улучшением церебрального кровотока и нейропластичностью [9, 10, 23, 24, 50].

В кардиологии и ангиологии воздействие на частотах, близких к колебаниям NO, улучшает эндотелиальную функцию и микроциркуляцию, что эффективно при ишемии и стрессе [8, 22, 30, 34].

На сегодняшний день активно исследуется эффективность ТГц-терапии при остеоартрозе, в комплексном лечении политравм, а также при патологиях предстательной железы и других состояниях, требующих активации репарации и кровообращения [6, 12, 19, 35, 42].

Наряду с оценкой эффективности, ключевым условием клинического внедрения ТГц-технологий является доказательство их безопасности. Безопасность применения ТГц-излучения является ключевым условием его внедрения в клинику [3, 17, 49].

Порог повреждения тканей связан с перегревом и достигается при плотности мощности порядка кВт/м². Современные диагностические системы работают при значениях, на порядки ниже этого порога [3, 7, 49].

Наибольшую сложность представляют нетепловые эффекты, наблюдаемые при низких интенсивностях (изменения экспрессии генов, клеточной пролиферации). Требуются дальнейшие исследования для выявления зависимостей «доза-эффект» и определения безопасных пределов хронического воздействия [7, 15, 21].

Отсутствие стандартизированных протоколов дозиметрии в ТГц-диапазоне — серьезное препятствие для их широкого внедрения в клиническую практику [14, 16, 17, 25]. Для корректной оценки воздействия необходимо учитывать не только падающую мощность, но и распределение поглощенной энергии в ткани, зависящее от частоты, поляризации и индивидуальных особенностей [2, 17, 28, 33]. Развитие медицинской ТГц-метрологии — обязательное условие для обеспечения безопасности и воспроизводимости результатов [14, 16, 25, 28].

Заключение. Таким образом, ТГц излучение представляет собой уникальный биофизический фактор, влияние которого на организм варьирует от роли пассивного, но высокоинформативного диагностического зонда до активного модулятора физиологических процессов. Терагерцевая медицина, базирующаяся на понимании резонансных механизмов взаимодействия излучения с водой и биомолекулами, открывает новые возможности для прецизионной диагностики и управления репарацией, микроциркуляцией и воспалением. Дальнейшее развитие этой области требует углубленного изучения нетепловых эффектов и разработки строгих метрологических стандартов для обеспечения безопасности и эффективности новых технологий.

Литература:

1. Бесконтактная регистрация функции дыхания на основе анализа ИК-ТГц-изображений лица человека / Е. Е. Берловская, О. П. Черкасова, И. А. Ожередов [и др.] // Компьютерная оптика. — 2020. — Т.44, № 6. — С.959–967.
2. Бурмистров, Е. Р. Время релаксации, подвижность и эффективная масса 2дэг в квантовых ямах *ingan/gan* по данным терагерцевого плазмонного резонанса / Е. Р. Бурмистров, Л. П. Авакянц // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. — 2021. — № 5. — С.106–113.

3. Воздействие терагерцевого излучения на биологические объекты: механизмы и перспективы применения / О. П. Черкасова, А. В. Раткин, В. И. Федоров, Е. Ф. Немова // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2020. — № 5. — С. 54–64.
4. Генерация и детектирование терагерцевого излучения в низкотемпературных эпитаксиальных пленках GaAs на подложках GaAs с ориентациями (100) и (111)А / Г. Б. Галиев, С. С. Пушкарёв, А. М. Бурянов [и др.] // Физика и техника полупроводников. — 2017. — Т.51, № 4. — С.529–534.
5. Заболотный, А. Г. Применение терагерцевого излучения в офтальмологии (обзор) / А. Г. Заболотный, И. А. Гейко, Л. М. Балагов // Acta Biomedica Scientifica. — 2021. — № 6–1. — С.168–178
6. Изменения иммунологических показателей у пострадавших с политравмой при применении в комплексном лечении электромагнитных волн терагерцевого диапазона / Ю. П. Солдатов, М. В. Стогов, С. В. Шень [и др.] // Гений ортопедии. — 2023. — Т.29, № 3. — С 293–298.
7. Исследование оптических свойств крови человека при изменении концентрации ее компонентов в терагерцевом диапазоне частот / Чжан Тяньмяо, Ю. А. Кононова, М. К. Ходзицкий [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2018. — Т.18, № 5. — С.727–734.
8. Истомина, Н. Фотоника. Мир лазеров и оптики — 2018: новинки индустрии фотоники и элементной базы опто-техники / Н. Истомина, Л. Карякина, К. Швырков // Фотоника. — 2018. — Т. 12, № 2(70). — С. 206–219.
9. Кириязи, Т. С. Влияние волн терагерцевого диапазона на частотах оксида азота на функциональное состояние эндотелия и перфузию ткани при длительном стрессе / Т. С. Кириязи // БМИК. — 2016. — Т.6, № 8. — С.1421–1422.
10. Кирьянова, В. В. Морфологические аспекты применения транскраниальных методов физиотерапии в раннем периоде ишемического инсульта / В. В. Кирьянова, Н. В. Молодовская, Е. Н. Жарова // Вестник физиотерапии и курортологии. — 2019. — Т.25, № 2. — С.34–40.
11. Кирьянова, В. В. Терагерцевое излучение в комплексной терапии больных с травматическим повреждением головного мозга / В. В. Кирьянова, Е. Н. Жарова, С. В. Логинова// Вестник физиотерапии и курортологии. — 2018. — № 1. — С.35–42.
12. Креницкий, А. П. Разработка и создание приборов медицинского назначения на основе экспериментального исследования эффектов лечебного воздействия электромагнитного излучения КВЧ- и ТГЧ-диапазонов на биологические среды: специальность 05.11.17 «Приборы, системы и изделия медицинского назначения»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Креницкий Александр Павлович. — Пенза, 2016. — 22 с.
13. Куликов, А. Г. Опыт применения терагерцевого излучения при остеоартрозе коленных суставов / А. Г. Куликов, А. И. Агеева, С. А. Воловец // Физиология, бальнеология и реабилитация. — 2018. — № 3. — С.145–148.
14. Лукин, С. Ю. Результаты лечения больных с множественной и сочетанной травмой с применением малоинвазивных технологий остеосинтеза и электромагнитных волн терагерцевого диапазона /С. Ю. Лукин, Ю. П. Солдатов, А. Н. Дьячков // Гений ортопедии. — 2021. — Т.27, № 1. — С.6–12.
15. Макарова, Д. Г. Адаптивная жидкостная оптическая система терагерцевого диапазона спектра для медицинской аппаратуры / Д. Г. Макарова, А. А. Болотин // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2017. — № 2. — С.46–52.
16. Метаболомический и сетевой подходы к изучению генов раскрывают роль белков митохондриальной мембраны в реакции клеток меланомы человека на терагерцевое излучение / Е. А. Бутикова, Н. В. Басов, А. Д. Рогачев [и др.] // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — журнал о молекулярной и клеточной биологии липидов. — 2025. — Т.1870, № 2.
17. Механизмы влияния терагерцевого излучения на клетки (обзор) / О. П. Черкасова, Д. С. Сердюков, А. С. Ратушняк [и др.] // Оптика и спектроскопия. — 2021. — Т.128, № 6. — С.852–864.
18. Минин, И. В. Детекторы миллиметрового и терагерцевого излучения / И. В. Минин, О. В. Минин // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2021. — Т.26, № 4. — С.160–175.
19. Минин, И. В. Проблемы метрологии терагерцевого излучения в медицине / И. В. Минин, О. В. Минин // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2021. — № 3. — С.162–180.
20. Особенности репаративной регенерации костной и мышечной тканей при замещении дефекта большеберцовой кости в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза под влиянием электромагнитных волн терагерцевого диапазона (экспериментально-морфологическое исследование) / Г. Н. Филимонова, А. А. Емаков, А. А. Шастов, Д. Ю. Борзунов // Гений ортопедии. — 2016. — № 3. — С.66–72.
21. Патент № 2568369 С1 Российская Федерация, МПК А61N 5/02, А61К 31/18, А61К 31/5685. Способ лечения аденомы предстательной железы в сочетании с хроническим абактериальным простатитом: № 2014143289/14/ В. М. Попков, В. Ф. Киричук, В. С. Лойко, С. Я. Пичхидзе; заявитель государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского» министерства здравоохранения российской федерации.

22. Перспективы применения электромагнитных волн терагерцового диапазона в физиотерапии (ретроспективный обзор) / В. В. Кирьянова, Е. Н. Жарова, Н. Т. Баграев [и др.] // Физиология, бальнеология и реабилитация. — 2016. — № 4. — С.209–215.
23. Полякова, А. Г. Влияние широкополосных микроволн суб- и миллиметрового диапазонов на биохимический метаболизм в условиях тканевой экспериментальной ишемии in vivo / А. Г. Полякова, В. Л. Кузнецова, М. В. Преснякова // Современные технологии в медицине. — 2016. — Т.8, № 3. — С.112–119.
24. Применение инфракрасного излучения, модулированного терагерцевыми частотами, в комплексной терапии больных острым ишемическим инсультом / А. С. Реуков, А. В. Наймушин, К. В. Симаков // АГ. — 2016. — № 22(1). — С.94–102.
25. Применение инфракрасного лазерного и терагерцового излучения в медицине при остром нарушении мозгового кровообращения / А. С. Реуков, М. Д. Дидур, А. О. Конради [и др.] // Лечебная физкультура и спортивная медицина. — 2023. — № 4(170). — С. 37–52.
26. Применение терагерцовых технологий в биофотонике / К. И. Зайцев, И. Н. Долганова, Н. В. Черномырдин [и др.] // Фотоника. — 2019. — Т.13, № 7. — С. 680–687.
27. Применение терагерцовых технологий в биофотонике. Часть 2: Спектроскопия и визуализация злокачественных новообразований / К. И. Зайцев, И. Н. Долганова, Н. В. Черномырдин [и др.] // Фотоника. — 2019. — Т. 13, № 8. — С. 736–743.
28. Разработка метода абсорбционной спектроскопии поверхностных плазмон-поляритонов в терагерцовом диапазоне / А. К. Никитин, В. В. Герасимов, Б. А. Князев, И. Ш. Хаасанов // Научное приборостроение. — 2018. — Т.28, № 4. — С.30–38.
29. Результаты воздействия электромагнитных волн терагерцового диапазона на ткани локтевого сустава при последствиях его повреждений / Е. С. Козлов, Ю. П. Солдатов, М. В. Стогов // Гений ортопедии. — 2022. — Т.28, № 3. — С.328–332.
30. Рентгенофазовый анализ в жёстком рентгеновском диапазоне почечных камней в составе модельных объектов / А. И. Низовский, А. Н. Шмаков, А. А. Легкодымов, В. И. Бухтияров // Минералогия техногенеза. — 2024. — № 25. — С. 178–185.
31. Рубцов, В. В. Энергия живых клеток человеческого организма и электромагнитное излучение в терагерцовом диапазоне частот, поступающее от солнца, возможно ли их взаимодействие. Новые частоты электромагнитного излучения и их свойства / В. В. Рубцов // Проблемы науки. — 2022. — № 1. — С.8–11.
32. Сравнительный анализ влияния терагерцевых волн на частотах оксида азота 150,176 -150,664 ГГц и на частотах атмосферного кислорода 129 ГГц на нарушения внутриорганного кровотока / М. О. Куртукова, И. О. Бугаева, Д. В. Попрыга [и др.] // ВНМТ. — 2017. — Т.24, № 1. — С.48–54.
33. Терагерцовое сканирование для оценки содержания воды в роговице и склере / Е. Н. Иомдина, С. В. Селиверстов, А. А. Сианосян [и др.] // Современные технологии в медицине. — 2018. — Т.10, № 4. — С.143–151.
34. Терагерцовое излучение — диагностика и терапия XXI века / В. В. Коломыцев, Л. В. Горюнова, К. А. Дурноглазова, В. В. Скворцов // Архив клинической и экспериментальной медицины. — 2024. — Т. 33, № 1. — С. 61–66.
35. Экспериментальное и клиническое обоснование применения электромагнитных волн терагерцового диапазона на частотах излучения и поглощения оксида азота и кислорода при различных формах патологии / А. А. Сви-стунова, А. А. Цымбал, П. Ф. Литвицкий, И. А. Будник // Вестник РАМН. — 2017. — № 5. — С.365–374.
36. Amini T, Jahangiri F, Ameri Z, Hemmatian MA. A Review of Feasible Applications of THz Waves in Medical Diagnostics and Treatments. J Lasers Med Sci. 2021 Dec 30;12:e92. doi: 10.34172/jlms.2021.92. PMID: 35155177; PMCID: PMC8837828.
37. Biswas S, Adhikari S, Chawla R, Maiti N, Bhatia D, Phukan P, Mukherjee M. Artificial intelligence enabled non-invasive T-ray imaging technique for early detection of coronavirus infected patients. Inform Med Unlocked. 2022;32:101025. doi: 10.1016/j.imu.2022.101025. Epub 2022 Jul 20. PMID: 35873921; PMCID: PMC9296229.
38. El-Shenawee M, Vohra N, Bowman T, Bailey K. Cancer detection in excised breast tumors using terahertz imaging and spectroscopy. Biomed Spectrosc Imaging. 2019;8(1–2):1–9. doi: 10.3233/bsi-190187. Epub 2019 Jul 9. PMID: 32566474; PMCID: PMC7304303.
39. Gezimati M, Singh G. Advances in terahertz technology for cancer detection applications. Opt Quantum Electron. 2023;55(2):151. doi: 10.1007/s11082-022-04340-0. Epub 2022 Dec 26. PMID: 36588663; PMCID: PMC9791634.
40. Ke J, Jia L, Hu Y, Jiang X, Mo H, An X, Yuan W. Clinical and experimental study of a terahertz time-domain system for the determination of the pathological margins of laryngeal carcinoma. World J Surg Oncol. 2022 Oct 12;20(1):339. doi: 10.1186/s12957-022-02788-8. PMID: 36224600; PMCID: PMC9554976.
41. Lee SH, Shin S, Roh Y, Oh SJ, Lee SH, Song HS, Ryu YS, Kim YK, Seo M. Label-free brain tissue imaging using large-area terahertz metamaterials. Biosens Bioelectron. 2020 Dec 15;170:112663. doi: 10.1016/j.bios.2020.112663. Epub 2020 Sep 28. PMID: 33011619.

42. Ma YT, Zhang J, Shi CC, Li W, Han XH, Peng XY, Wei DS, Du CL, Cui HL. [Current Status and Recent Advances in Research and Application of THz Technology in Articular Cartilage Detection]. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. 2016 Jul;36(7):2031–5. Chinese. PMID: 30035870.
43. Shi H, Li T, Liu Z, Zhao J, Qi F. Early detection of gastric cancer via high-resolution terahertz imaging system. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022 Dec 14;10:1052069. doi: 10.3389/fbioe.2022.1052069. PMID: 36588946; PMCID: PMC9794757.
44. Shi S, Yuan S, Zhou J, Jiang P. Terahertz technology and its applications in head and neck diseases. *iScience*. 2023 Jun 7;26(7):107060. doi: 10.1016/j.isci.2023.107060. PMID: 37534152; PMCID: PMC10391736.
45. Xu K, Arbab MH. Terahertz polarimetric imaging of biological tissues: Monte Carlo modeling of signal contrast mechanisms due to Mie scattering. *Res Sq [Preprint]*. 2023 Dec 14;rs.3.rs-3745690. doi: 10.21203/rs.3.rs-3745690/v1. Update in: *Biomed Opt Express*. 2024 Mar 13;15(4):2328–2342. doi: 10.1364/BOE.515623. PMID: 38168438; PMCID: PMC10760297.
46. Yang X, Zhao X, Yang K, Liu Y, Liu Y, Fu W, Luo Y. Biomedical Applications of Terahertz Spectroscopy and Imaging. *Trends Biotechnol*. 2016 Oct;34(10):810–824. doi: 10.1016/j.tibtech.2016.04.008. PMID: 27207226.
47. Yimingjiang M, Geng S, Ye Z, Guan Y, Liu X, Huang G. Research Advances in Terahertz Technology for Skin Detection. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2025 Jan;43(1):1–7. doi: 10.1089/photob.2024.0079. PMID: 39841526.
48. Yu C, Fan S, Sun Y, Pickwell-Macpherson E. The potential of terahertz imaging for cancer diagnosis: A review of investigations to date. *Quant Imaging Med Surg*. 2012 Mar;2(1):33–45. doi: 10.3978/j.issn.2223–4292.2012.01.04. PMID: 23256057; PMCID: PMC3496499.
49. Yu L, Hao L, Meiqiong T, Jiaoqi H, Wei L, Jinying D, Xueping C, Weiling F, Yang Z. The medical application of terahertz technology in non-invasive detection of cells and tissues: opportunities and challenges. *RSC Adv*. 2019 Mar 22;9(17):9354–9363. doi: 10.1039/c8ra10605c. PMID: 35520739; PMCID: PMC9062338.
50. Zhang J, Li S, Le W. Advances of terahertz technology in neuroscience: Current status and a future perspective. *iScience*. 2021 Dec 3;24(12):103548. doi: 10.1016/j.isci.2021.103548. PMID: 34977497; PMCID: PMC8683584.

Клинико-этиологическая характеристика хронического аденоидита у детей от 2 до 10 лет

Исмадова Камола Аскарровна, ассистент;
Бахронов Мирзохид Равшанович, ассистент
Ташкентский государственный медицинский университет (Узбекистан)

Ключевые слова: хронический аденоидит, гипертрофия аденоидов, апноэ, этиология.

Введение

Хронический аденоидит занимает одно из ведущих мест в структуре оториноларингологической патологии детского возраста. Глоточная миндалина, являясь периферическим звеном иммунной системы, выполняет барьерную функцию и первой контактирует с патогенными агентами. Однако при длительном воспалительном процессе происходит утрата её защитных свойств с формированием очага хронической инфекции. У детей в возрасте от 2 до 16 лет данное состояние нередко сопровождается гипертрофией лимфоидной ткани, что приводит к стойкой назальной обструкции, развитию гипоксии и нарушениям со стороны среднего уха [1–3].

В последние годы отмечается неблагоприятная тенденция к увеличению распространённости патологий лимфоглоточного кольца: за десятилетний период показатели возросли с 5 % до 70 %, включая хронический аденоидит, что обуславливает повышенный интерес медицинского сообщества к совершенствованию методов диагностики и лечения данной группы заболеваний [4]. Своевременная

идентификация этиологических факторов на базе современных клинических учреждений Ташкента способствует оптимизации лечебной тактики и снижению частоты необоснованных хирургических вмешательств.

Цель исследования

Изучить структуру основных этиологических факторов и характер клинических проявлений хронического аденоидита у детей в возрасте от 2 до 10 лет для повышения эффективности диагностики и патогенетического лечения.

Материалы и методы

Проведено комплексное обследование 87 больных в возрасте от 2 до 10 лет, находившихся на амбулаторном и стационарном лечении в клинике Happy Life, а также на клинической базе Ташкентского государственного медицинского университета за период 2023–2025 гг. Распределение по возрасту: первая группа (2–5 лет) — 46 детей (52,9 %), вторая группа (6–10 лет) — 41 ребенок (47,1 %).

Методы исследования:

Сбор анамнеза и общеклинический осмотр.

Эндоскопическая видеориноскопия: определение степени гипертрофии аденоидных вегетаций и состояния плотных устьев слуховых труб.

Микробиологический анализ: мазки из носоглотки на флору и чувствительность к антибиотикам, ПЦР-диагностика на герпесвирусы (ВЭБ, ЦМВ, ВГЧ).

Аллергологический скрининг: определение уровня общего IgE и специфических антител (по показаниям).

Тимпанометрия: оценка функционального состояния среднего уха.

Результаты исследования

Результаты проведённого исследования позволили выделить ведущие этиологические факторы хронического аденоидита. Установлено, что в 71,3 % случаев доминирует инфекционный фактор: при микробиологическом исследовании мазков из носоглотки наиболее часто выявлялись *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* и *Staphylococcus aureus*. При этом у 38 % детей младшей возрастной группы (2–5 лет) обнаружена активная персистенция вируса Эпштейна–Барр, что статистически значимо коррелировало с выраженной гипертрофией лимфоидной ткани.

Аллергический компонент выявлен в 34,5 % случаев. Показано, что у детей старшей возрастной группы (6–10 лет) хронический аденоидит в 1,5 раза чаще протекает на фоне сопутствующего аллергического ринита, что способствует формированию стойкого отёка слизистой оболочки носоглотки.

Литература:

1. Янов ЮК, Кривопапов АА, Тузиков НА, Шнайдер НА, Насырова РФ, Щербук АЮ и др. Оценка качества специализированной оториноларинго-логической помощи. Российская оториноларингология. 2019;18(1):103–115. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-1-103-115>
2. Преображенская Ю. С., Дроздова М. В., Рязанцев С. В. Этиологические аспекты хронической патологии лимфоэпителиального глоточного кольца у детей на современном этапе. Медицинский совет. 2021;(18):100–105. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-18-100-105>
3. Коркмазов А. М., Солодовник А. В., Корнова Н. В., Крашенинникова Л. С. Влияние хронического аденоидита на реактивность бронхолегочной системы, возможности немедикаментозной коррекции.
4. Зенаишвили Р. Д., Малахина Д. Д. Оптимизация лечения хронического аденоидита с учетом микробиоты носоглотки // РО. 2018. № 1 (92).

Анализ клинической симптоматики продемонстрировал, что ведущей жалобой у большинства пациентов (91,9 %; n=80) являлось затруднение носового дыхания. Ночной храп и эпизоды апноэ были зафиксированы у 28,7 % обследованных, что свидетельствует о значимом нарушении дыхательной функции во время сна.

Среди осложнений у 24,1 % детей (n=21) диагностирована дисфункция слуховой трубы, подтверждённая тимпанометрией (типы В и С), что указывает на высокий риск развития экссудативного среднего отита и подчёркивает необходимость своевременной диагностики и лечения данного состояния.

Выводы

Хронический аденоидит у детей 2–10 лет является мультифакторным заболеванием, где в младшем возрасте (2–5 лет) превалирует инфекционно-вирусный фактор, а в старшем (6–10 лет) возрастает роль аллергической сенсibilизации.

Использование современного эндоскопического оборудования на базе клиники «Happy Life» и ТГМУ позволило установить, что II и III степени гипертрофии аденоидов встречаются у 76 % первичных пациентов, требуя комплексной терапии.

Наличие герпесвирусной инфекции является предиктором неэффективности стандартной антибиотикотерапии и требует включения иммуномодулирующих препаратов в схему лечения.

Своевременная диагностика и учет этиологических факторов позволяют индивидуализировать лечение, снижая риск хронизации процесса и развития тугоухости у детей.

Современные методы ранней диагностики внутриглазных опухолей в клинической практике офтальмолога

Раххал Хамза ТИ, ординатор

Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина

В статье рассматриваются современные методы ранней диагностики внутриглазных опухолей, их клиническая значимость, диагностическая эффективность и роль в выборе лечебной тактики. Представлен расширенный анализ со-

временных инструментальных методов визуализации, включая ультразвуковое исследование, оптическую когерентную томографию, флуоресцентную ангиографию и магнитно-резонансную томографию.

Ключевые слова: внутриглазные опухоли, офтальмоонкология, ранняя диагностика, ОКТ, УЗИ, МРТ.

Введение

Внутриглазные опухоли представляют собой группу патологических процессов, включающих как доброкачественные, так и злокачественные новообразования структур глазного яблока [1, с. 24–29]. Несмотря на сравнительно низкую частоту встречаемости, данные заболевания обладают высокой клинической значимостью в связи с риском снижения зрительных функций и развития метастатических осложнений [2, с. 241–247].

Актуальность проблемы

В современной офтальмологии раннее выявление опухолевой патологии является одной из приоритетных задач клинической практики [6, с. 52–58]. Поздняя диагностика часто приводит к необходимости применения радикальных методов лечения [7, с. 234–238].

Эпидемиология

Наиболее распространенной первичной злокачественной внутриглазной опухолью у взрослых является увеальная меланома, а у детей — ретинобластома [2, с. 248–252]. Частота увеальной меланомы в европейской популяции варьирует от 2 до 8 случаев на миллион населения ежегодно [4, р. 2309–2313].

Классификация внутриглазных опухолей

К внутриглазным опухолям относятся доброкачественные и злокачественные образования [1, с. 37–41].

Клиническая диагностика

Первичная диагностика внутриглазных опухолей основывается на стандартном офтальмологическом обследовании [6, с. 60–64].

Дифференциальная диагностика

Одной из наиболее сложных задач является проведение дифференциальной диагностики между опухолевыми и псевдоопухолевыми образованиями [8, с. 39–43].

Ультразвуковое исследование

Ультразвуковое В-сканирование является одним из наиболее информативных методов оценки внутриглазных новообразований [5, с. 399–404].

Оптическая когерентная томография

ОКТ обеспечивает высокоразрешающую визуализацию слоев сетчатки и хориоидеи [6, с. 881–885].

Магнитно-резонансная томография

МРТ применяется преимущественно при подозрении на распространение опухолевого процесса за пределы глазного яблока [7, с. 235–239].

Клиническое значение ранней диагностики

Своевременное выявление внутриглазной опухоли позволяет значительно расширить возможности органосохраняющего лечения [8, с. 41–46].

Современные ограничения диагностики

Несмотря на развитие технологий визуализации, современные методы диагностики сохраняют ряд ограничений [1, с. 55–60].

Перспективы развития

Одним из наиболее перспективных направлений современной офтальмоонкологии является внедрение технологий искусственного интеллекта [9, с. 1342–1347].

Статистический анализ

Ниже представлены статистические данные, отражающие сравнительную диагностическую эффективность современных методов визуализации.

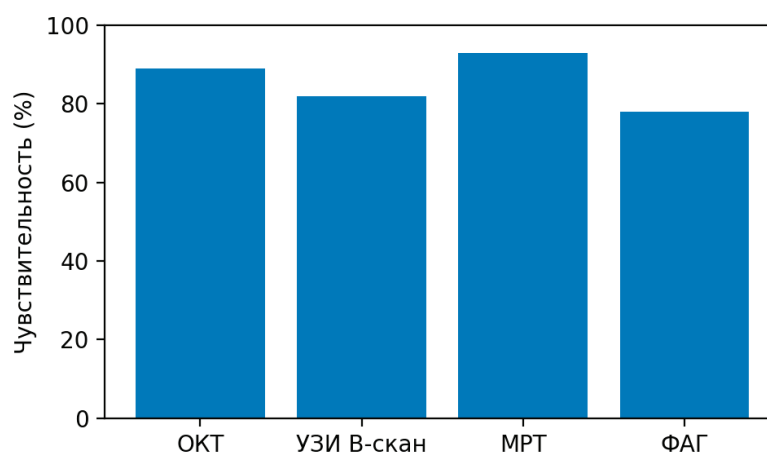


Рис. 1. Сравнительная характеристика диагностической чувствительности современных методов визуализации

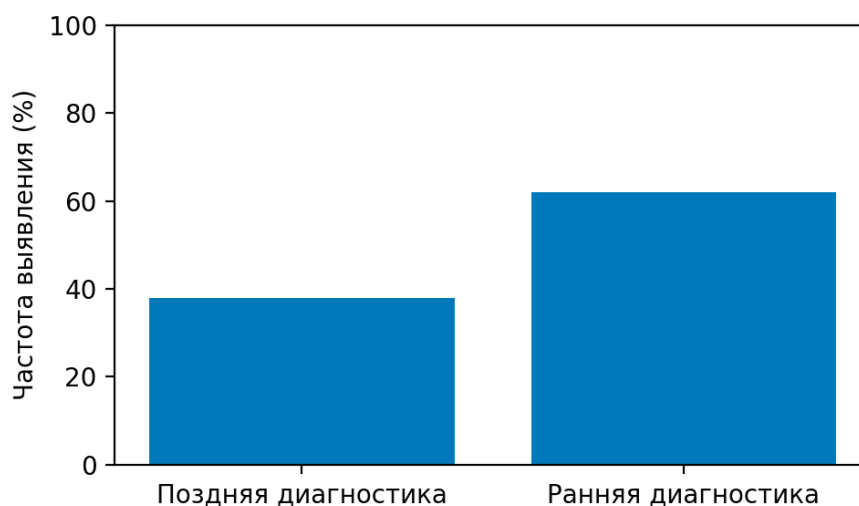


Рис. 2. Частота раннего и позднего выявления внутриглазных опухолей по данным клинических наблюдений

Заключение

Таким образом, ранняя диагностика внутриглазных опухолей является основополагающим фактором успешного лечения и сохранения зрительных функций [1, с. 72–76].

Литература:

1. Shields CL, Shields JA. Intraocular Tumors: An Atlas and Textbook. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2023.
2. Kaliki S, Shields CL. Uveal melanoma: relatively rare but deadly cancer. Eye (Lond). 2017;31(2):241–257. doi:10.1038/eye.2016.275
3. Singh AD, Turell ME, Topham AK. Uveal melanoma: trends in incidence, treatment, and survival. Ophthalmology. 2011;118(9):1881–1885. doi:10.1016/j.ophtha.2011.01.040
4. Virgili G, Gatta G, Ciccolallo L, et al. Incidence of uveal melanoma in Europe. Ophthalmology. 2007;114(12):2309–2315. doi:10.1016/j.ophtha.2007.01.032
5. Finger PT. Diagnostic ophthalmic ultrasound for intraocular tumors. Surv Ophthalmol. 2020;65(4):395–414. doi:10.1016/j.survophthal.2019.12.002
6. Arepalli S, Kaliki S, Shields CL. Optical coherence tomography in ocular oncology. Retina. 2022;42(5):881–890. doi:10.1097/IAE.0000000000003380
7. Rao RC, Choudhry N. MRI in ocular oncology imaging. Curr Opin Ophthalmol. 2021;32(3):234–240. doi:10.1097/ICU.0000000000000749
8. Damato B, Coupland SE. Management of uveal melanoma. Clin Exp Ophthalmol. 2019;47(1):39–52. doi:10.1111/ceo.13341
9. De Fauw J, Ledsam JR, Romera-Paredes B, et al. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. Nat Med. 2018;24(9):1342–1350. doi:10.1038/s41591-018-0107-6

Анализ суточных колебаний артериального давления у студентов первого курса в период экзаменационной сессии

Ряхов Владислав Николаевич, студент

Научный руководитель: Жалтаева Нурия Сундетгалиевна, преподаватель;

Научный руководитель: Плотникова Ирина Геннадьевна, старший преподаватель

Оренбургский государственный медицинский университет

Актуальность. Экзаменационный стресс является значимым психоэмоциональным фактором, влияющим на сердечно-сосудистую систему, особенно у первокурсников в период адаптации к обучению в вузе. Цель — оценка динамики артериального давления (АД) у студентов-первокурсников в условиях обычной учебной нагрузки и в период экзаменационной сессии с учетом половых различий и времени суток. Материалы и методы. Обследовано 60 студентов (26 юношей, 34 девушки) в возрасте 18–20 лет. Измерение АД проводилось утром и вечером в межсессионный период и за день до экзамена. Результаты. В предэкзаменационный день выявлено повышение систолического АД на 10,3 мм рт.ст. ($p<0,01$), диастолического — на 6,9 мм рт.ст. ($p<0,05$). Частота эпизодов повышенного АД увеличилась с 11,7 % до 38,3 % ($p<0,001$). У юношей прирост САД был более выражен, чем у девушек ($12,4\pm 3,1$ против $7,2\pm 2,8$ мм рт.ст.; $p<0,05$). Выводы. Экзаменационный стресс вызывает достоверное повышение АД у студентов, особенно у юношей, что обосновывает необходимость профилактических мероприятий.

1. Введение

Современный образовательный процесс предъявляет высокие требования к адаптационным возможностям организма студентов. Особенно это касается первокурсников, которые одновременно сталкиваются с необходимостью адаптации к новой образовательной среде и стрессовыми ситуациями, связанными с экзаменационной сессией.

Стресс играет двойственную роль: кратковременная активация стрессовых механизмов мобилизует ресурсы, тогда как интенсивный стресс может стать триггером патологических процессов. По данным российских исследо-

вателей, длительный стресс ассоциирован с повышением риска развития сердечно-сосудистых заболеваний.

Цель настоящего исследования — оценка динамики артериального давления у студентов-первокурсников в условиях обычной учебной нагрузки и в период экзаменационной сессии с учетом половых различий и времени суток.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 60 студентов первого курса в возрасте 18–20 лет (26 юношей, 34 девушки). Критерии включения: отсутствие хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, отсутствие регулярного

приема гипотензивных препаратов, добровольное информированное согласие.

Измерение артериального давления проводилось по методу Короткова трехкратно в положении сидя после 10-минутного отдыха. Анализировались средние значения систолического (САД) и диастолического (ДАД) давления, а также частота эпизодов повышенного АД (более 130/85 мм рт.ст.).

Измерения проводились в два периода: в межсессионный период (за 4 недели до экзаменов) и за день до экзамена. В каждый период измерения выполнялись утром (7:00–8:00) и вечером (20:00–21:00). Статистическая обработка выполнена с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считались значимыми при $p < 0,05$.

3. Результаты

3.1. Динамика артериального давления

В межсессионный период средние значения АД соответствовали возрастной норме: САД — $118,4 \pm 6,2$ мм рт.ст., ДАД — $74,3 \pm 5,1$ мм рт.ст. Утренние показатели были значимо ниже вечерних ($p < 0,05$). Частота эпизодов повышенного АД составила 11,7 %.

За день до экзамена отмечено статистически значимое повышение АД. САД возросло до $128,7 \pm 7,8$ мм рт.ст. ($p < 0,01$), ДАД — до $81,2 \pm 6,4$ мм рт.ст. ($p < 0,05$). Особенно выраженные изменения зарегистрированы в утренние часы: утреннее САД повысилось на 10,2 мм рт.ст. ($p < 0,01$). Частота эпизодов повышенного АД увеличилась до 38,3 % ($p < 0,001$). У 20 % студентов впервые зарегистрированы значения АД, превышающие 135/85 мм рт.ст.

3.2. Гендерные особенности

У юношей прирост САД в предэкзаменационный день составил $12,4 \pm 3,1$ мм рт.ст., у девушек — $7,2 \pm 2,8$ мм рт.ст. ($p < 0,05$). Прирост ДАД составил $7,8 \pm 3,0$ и $6,3 \pm 2,7$ мм рт.ст. соответственно ($p = 0,08$). Частота эпизодов повышенного АД у юношей составила 46,2 %, у девушек — 32,4 % ($p < 0,05$).

Литература:

1. Евсеева М. Е., Сергеева О. В., Никулина Г. П., Ростовцева М. В., Орехова Н. В. Суточный профиль артериального давления и факторы сердечно-сосудистого риска у лиц молодого возраста // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2008. Т. 7. № 4. С. 30–34.
2. Першина Т. А., Спицин А. П. Особенности гемодинамики у студенток с наследственной отягощенностью по артериальной гипертензии в условиях экзаменационного стресса // Гигиена и санитария. 2013. № 3. С. 80–83.
3. Шаламова Е. Ю., Рагозин О. Н., Бочкарев М. В. Дезадаптивные реакции сердечно-сосудистой системы во взаимосвязи с функцией сна и копинг-поведением у студентов северного медицинского вуза // Артериальная гипертензия. 2019. Т. 25. № 2. С. 176–190.
4. Базарбаева С. М., Нусупова А. Ж., Маратова А. С., Нусупов М. Т. Функциональное состояние системы кровообращения студентов // Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева. 2021. № 1 (50). С. 34–42.
5. Кретьова И. Г., Соколов А. В., Шулятьева О. А. и др. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы современных студентов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2025. Т. 11 (77). № 1. С. 41–52.

3.3. Суточные колебания

Независимо от периода наблюдения, вечерние показатели АД были значимо выше утренних ($p < 0,05$). Утренне-вечерняя разница в межсессионный период составляла $6,4 \pm 2,1$ мм рт.ст. для САД, в предэкзаменационный день — $6,6 \pm 2,3$ мм рт.ст. Однако в условиях стресса отмечался дополнительный утренний пик АД, связанный с активацией симпатoadренальной системы.

4. Обсуждение

Практическая значимость результатов заключается в обосновании необходимости мониторинга АД у студентов в период сессии. Выявленное повышение АД достигало уровней пограничной артериальной гипертензии, что требует разработки профилактических программ, включающих обучение методам релаксации и нормализацию режима сна.

5. Выводы

Экзаменационный стресс вызывает статистически значимое повышение артериального давления у студентов-первокурсников. Систолическое давление возрастает на 10,3 мм рт.ст., диастолическое — на 6,9 мм рт.ст. Частота эпизодов повышенного АД увеличивается в 3,3 раза.

У юношей прирост систолического АД более выражен, чем у девушек (12,4 против 7,2 мм рт.ст.; $p < 0,05$), что указывает на необходимость дифференцированного подхода к профилактике.

Физиологический суточный ритм АД сохраняется, однако в предэкзаменационный день отмечается дополнительный утренний пик, что может иметь клиническое значение.

Полученные данные обосновывают необходимость внедрения профилактических мероприятий, направленных на снижение негативного влияния экзаменационного стресса на сердечно-сосудистую систему студентов.

Проблемы современной классификации глубокой стеральной инфекции после кардиохирургических операций

Шевченко Александр Александрович, кандидат медицинских наук, доцент;

Вавринчук Сергей Андреевич, доктор медицинских наук, профессор

Дальневосточный государственный медицинский университет (г. Хабаровск)

Вавринчук Александр Сергеевич, заведующий онкологическим отделением

КГБУЗ «Краевой клинический центр онкологии» (г. Хабаровск)

Открытые операции на сердце путём стернотомии являются одним из основных методов хирургического лечения его заболеваний. Наиболее частым и тяжелым осложнением стернотомии после кардиохирургических вмешательств является остеомиелит грудины, который развивается в 0,3–6,9 % случаях. Послеоперационный остеомиелит грудины и стерномедиастинит значительно ухудшают результаты хирургического лечения пациентов после открытых кардиохирургических вмешательств, повышают послеоперационную летальность до 7,1 %, увеличивают продолжительность лечения и экономические затраты, ухудшают качество жизни пациентов. Современным принципом лечения глубокой стеральной инфекции является его этапность, которая заключается в эрадикации инфекции, стабилизации пациента на первом этапе и проведение реконструктивного этапа лечения сформированного дефекта передней грудной стенки. В статье проведен анализ имеющейся классификации стеральной инфекции с критическим анализом имеющихся тех или иных признаков в предложенной классификации заболевания.

Ключевые слова: послеоперационный остеомиелит грудины, стерномедиастинит, осложнения кардиохирургических вмешательств

Срединная стернотомия (ССТ) широко распространена в современной кардиохирургии, обеспечивая адекватный доступ к сердцу и грудному отделу аорты (Леднев П. В., 2018, Бокерия Л.А., 2021, Брюсов П. Г., 2024).

Однако, этот операционный доступ нарушает целостность грудины, что в 0,1 до 3,7 % случаев является причиной развития глубокой стеральной инфекции (ГСИ) [Вишневский А. А. и соавт., 2005; Кохан Е. П. и соавт., 2011; Порханов В. А. и соавт., 2014; Morgante A. et al., 2017].

J.J.van Wingerden (2015), Е. А. Корымасов, М. А. Медведчиков-Ардия (2021), указывают на крайне выраженное разнообразие терминов, описывающих стеральную инфекцию после срединной стернотомии: «постоперационный медиастинит» [Atkins B. Z. et al., 2011], «послеоперационный стерномедиастинит» [Robicsek F., 2000; Вишневский А. А. и соавт., 2005], «постстернотомный передний стерномедиастинит» [Столяров С. И. и соавт., 2016], «постстернотомный медиастинит» [Obdeijn M. C. et al., 1999; Schimmer C. et al., 2008; Ennker I. C. et al., 2009; Morisaki A. et al., 2011], «постстернотомная раневая инфекция» [Fleck T. M. et al., 2004], «глубокая грудная инфекция» [Brandt C. et al., 2002], «глубокая инфекционная рана средостения» [Parissis H. et al., 2011], «глубокая стерральная раневая инфекция» (deep sternal wound infections- DSWI) [Modrau I. S. et al., 2009; Matros E. et al., 2010; Chaudhuri A. et al., 2012; Deschka H. et al., 2013], «остеомиелит грудины» [Tocco M. P. et al., 2013].

Выполненный ими обзор 218 рецензируемых работ за 1988–2014 гг. по этой проблеме показал, что ни одно из этих определений не было повсеместно принято хирургами (J.J.van Wingerden 2015).

В 1996 г. R. M. El Oakley, J. E. Wright разделили стеральную инфекцию на поверхностную (Superficial sternal

wound infection) с гнойно-воспалительным поражением кожи и подкожно-жировой клетчатки и глубокую (Deep sternal wound infection), к которой они отнесли послеоперационный остеомиелит грудины и стерномедиастинит.

Критически оценивая проявления стеральной инфекции J. J. Van Wingerden (2015) предложил не разделять инфекционные постстернотомные осложнения на поверхностное и глубокое, поскольку: не существует естественного барьера между грудиной и средостением [Marchand P., 1951], мазки и посевы из поверхностных тканей почти всегда совпадают с результатами посева из глубоких мягких тканей (средостения) [Chaudhuri A. et al., 2012; Spiess A. M. et al., 2007]; прогрессирование послеоперационной стеральной инфекции может быть остановлено ранней диагностикой и применением отрицательного давления [Segers P. et al., 2005; Ennker I. C. et al., 2009].

Е. А. Корымасов, М. А. Медведчиков-Ардия (2021), указывают, что клинические проявления стеральной инфекции после кардиохирургических операций характеризуют различные стадии послеоперационного стерномедиастинита. Ими были выделены в области грудины флегмона и свищ грудной стенки, а также частичная или полная несостоятельность швов грудины с ее нестабильностью (Е. А. Корымасов 2021)

Большое влияние на выделение клинических вариантов глубокой стеральной инфекции оказали сроки её выявления.

Так, P. C. Pairolero et al. (1986) выделил 3 типа стеральной инфекции.

Первый тип характеризовался проявлением в течение первых нескольких дней после операции с вовлечением

в воспалительный процесс только мягких тканей грудной стенки без целлюлита кожи. Раневое отделяемое было серозно-геморрагическим, средостение — интактным, отсутствовал остеомиелит и перихондрит грудины, результаты микробиологического исследования были отрицательными. Второй тип возникал через несколько недель после операции с развитием целлюлита кожи, с гнойным отделяемым, в том числе и из средостения, частым развитием остеомиелита и положительными бактериологическими посевами. Третий тип стеральной инфекции возникал спустя несколько месяцев или лет после операции. При этом имелся хронический дренирующийся наружный свищ с локальным целлюлитом кожи, часто выявлялся остеомиелит и перихондрит грудины с образованием секвестров. Редко развивался медиастинит и всегда были положительные результаты микробиологического исследования (Р. С. Pairolero 1986).

Л. Schiraldi (2019) так же выделил 3 типа инфицированных ран, при которых раны I типа возникали в течение первых нескольких дней после операции с серозно-геморрагическим отделяемым без воспаления окружающих тканей, костохондрита или остеомиелит грудины. Раны II типа возникали в течение первых нескольких недель с гнойным отделяемым, воспалением окружающих тканей, признаками нагноения средостения и положительными бактериальными посевами. Раны III типа возникали от нескольких месяцев до нескольких лет после операции с наличием хронического свищевого отделяемого, локализованного воспаления и остеомиелита грудины (L. Schiraldi 2019).

Вишневский А. А. и соавт. (2005) так же разделял глубокую стеральную инфекцию на острую (длительность заболевания до 3 недель); подострую (длительность забо-

левания от 3 до 6 недель) и хроническую (длительность заболевания более 6 недель).

Анализ литературных данных показывает, что указание на сроки проявления стеральной инфекции и их связь с глубиной поражения являются условными и ранние признаки поверхностной СИ могут быть лишь проявлением течения глубокой стеральной инфекции.

Так, имеются сообщения о лечении пациентов с глубокой стеральной инфекцией уже на ранних сроках в кардиохирургических стационарах с рекомендацией их лечения в специализированных отделениях торакальной хирургии (Е. А. Корымасов (2021)).

Наиболее часто современные торакальные хирурги используют классификацию глубокой стеральной инфекции по R. M. El Oakley, J. E. Wright (1996), которые разделили медиастиниты на пять типов: тип I проявляется в течение 2 недель после операции при отсутствии факторов риска; тип II — в течение 2–6 недель после операции при отсутствии факторов риска.

Тип IIIA и IIIB — это I-й и II-й типы медиастинита в присутствии одного или более факторов риска. Тип IVA — медиастинит I, II или III-го типа после одной неудавшейся попытки терапевтического лечения.

Тип IVB — это медиастинит I, II или III-го типа после более чем одной неудавшейся попытки терапевтической лечения.

Тип V — медиастинит, проявляющийся впервые более чем через 6 недель после операции.

К факторам риска они отнесли хронические обструктивные болезни легких, сахарный диабет и ожирение.

В 1997 г. G. Jones et al. предложили разделять типы стеральной инфекции только на основании глубины поражения (таблица 1).

Таблица 1. Типы медиастинальной инфекции после ССТ по G. Jones et al. (1997 г.)

Медиастинальная инфекция			
Характер поражения	Тип МИ	Подтип МИ (признаки)	
Поверхностное	I	a	расхождение краев кожи и подкожной клетчатки
		b	обнажение ушитой глубокой фасции
Глубокое	II	a	металлические лигатуры состоятельны
		b	нестабильность грудины в силу несостоятельности металлических лигатур
	III	a	обнажена некротизированная или фрагментированная грудина
		b	распространённый медиастинит

Jones G., Jurkiewicz M. J., (1997) разделили проявления стеральной инфекции в соответствии с её глубиной, характером посева из операционной раны и повреждением грудины на 4 типа:

I тип — поверхностное расхождение краев раны: стабильная грудина; стерильный посев на флору;

II тип — нестабильная грудина (расхождение краев):

A — посев стерильный, жизнеспособная кость;

B — воспаление кости, нежизнеспособная кость, расположение очага в верхних двух третях грудины;

C — воспаление кости, нежизнеспособная кость, расположение очага в нижней трети грудины;

III тип — медиастинит (гнойный);

IV тип — пункт II или III с положительным результатом посева крови.

J. Anger (2015) разделил СИ на 4 типа. При этом I тип характеризовал поверхностную СИ и II-IV типы — глубокую СИ, из которых типы II-III характеризовали глубину поражения грудины и IV тип — вовлечение переднего средостения (табл. 2).

Таблица 2. Медиастинальная инфекция по J. Anger et al. (2015)

Тип раны		Глубина поражения	Вертикальное распространение	
Поверхностная СИ	I	Кожа, подкожная клетчатка	частичное	Высокая/низкая
			тотальное	
	II	Вовлечение грудины, хрящей, рёбер	частичное	Высокая/низкая
			тотальное	
Глубокая СИ	III	Деструкция грудины, хрящей, рёбер	частичное	Высокая/низкая
			тотальное	
	IV	Переднее средостение	частичное	Высокая/низкая
			тотальное	

Rupprecht L, Schmid C., (2013), выделили 3 группы пациентов с глубокой стеральной инфекцией: нестабильность грудины без инфекционных осложнений, глубокая инфекция грудины без нестабильности последней и глубокая инфекция грудины с нестабильностью грудины.

B. Gardlund et al. (2002) считал, что медиастинит после операции на сердце может быть отнесен к одному из трех типов:

— А — связан с ожирением, расхождением грудины и иногда с хронической обструктивной болезнью легких.

— В — развивающийся в результате периоперационного загрязнения средостения.

— С — возникает от сопутствующих инфекций

В 2015 г. J.J. van Wingerden предложил классификацию AMSTERDAM (Assiduous Mediastinal Sternal Debridement & Aimed Management), которая учитывает наличие стабильности грудины, её жизнеспособности и наличия сохранившейся костной ткани, а также сроков проведения реконструкции (таблица 3).

Таблица 3. Классификация AMSTERDAM глубокой СИ (J.J. van Wingerden, 2015)

Тип	Стабильность грудины	Жизнеспособность кости и её резерв	Метод лечения
1	Есть	Жизнеспособна, достаточный объём кости	VAC-терапия
2a			Локальный мышечный лоскут
2b			Мышца или лоскут сальника
3a	Нет	Жизнеспособна, достаточный объём кости	Реостеосинтез металлическими лигатурами/другой остеосинтез
3b			Реостеосинтез металлическими лигатурами/другой остеосинтез и мышечный или сальниковый лоскут
4a		Некротизирована, дефицит кости	Мышечный лоскут
4b			Лоскут сальника
4c			Мышечный и сальниковый лоскут

Однако, при ГСИ выполнение реконструктивного этапа лечения требуется не всем пациентам и после удаления лигатур грудины с её кюретажем у них происходит заживление ран.

Исходя из современной концепции двухэтапного лечения глубокой стеральной инфекции непосредственное лечение стеральной инфекции производится на первом этапе.

Второй этап лечения осуществляется только при элиминации гнойной инфекции и необходим пациентам с обширными дефектами грудины. У ряда пациентов после оперативного лечения она полностью отсутствует. Таким образом, необходимо разделять этапы элиминации стеральной инфекции и реконструктивного восстановления дефекта передней грудной стенки и создавать классификации, соответствующие каждому из этих этапов лечения пациентов с ГСИ.

Е. А. Корымасов и М. А. Медведчиков-Ардия (2021), указывают, что эта классификация так же не учитывает тяжесть состояния пациентов, особенности и длительность течения воспаления, длительность подготовительного этапа.

Анализ предложенных классификаций ГСИ после кардиохирургических операций показывает, что все они рассматривают отдельные аспекты стеральной инфекции (время выявления, характер экссудата и результат посева из раны, стабильность или нестабильность грудины, отдельные аспекты глубины поражения) без комплексного отражения всех аспектов раневой инфекции, современного этапного подхода в её лечении.

Особенностью патогенеза ГСИ является обязательное наличие послеоперационной патологии грудины, которая выражается в её послеоперационной нестабильности, наличии остеомиелита грудины и фиксирующих грудину

конструкций (лигатур), что и обуславливает вторичные патологические изменения кожи и подкожной клетчатки, является входными воротами для переднего медиастинита.

Обязательным для характеристики гнойной раневой инфекции является определение вида возбудителя, его антибиотикорезистентности, ассоциации с другими бактериями, вирусами и грибами.

В соответствии с современной этапной концепцией лечения ГСИ необходимо указание стадии раневого процесса и характера поражения грудины, наличия или отсутствия её стабильности.

По данным разных авторов послеоперационная ГСИ значительно ухудшает течение клинического случая и повышает внутрибольничную смертность с 1,8 % до 7,1 % в сравнении с пациентами без неё (Cayci C, 2008; Lazar HL, 2016; Colombier S, 2013; Gatti G, 2018; Šimek M, 2018; Sharif M, 2019; Hernandez R, 2021; Harder Y, 2021; Lee G. S., 2023; Hämäläinen E., 2023; Perezgrovas-Olaria R, 2023; Bota O, Pablik J, 2023), а так же увеличивает летальность в первый год до 12,4 % (Gårdlund B, 2002; Cayci C. 2008; Sears ED, 2016; Hämäläinen E. 2023).

Однако, в классификациях ГСИ отсутствует оценка тяжести течения раневой инфекции, которая является непосредственной причиной летальных исходов.

Таким образом, анализ данных литературы указывает на то, что имеющиеся общепринятые классификации охватывают только время выявления ГСИ, факторы риска её развития и рецидивирующее течение.

При этом важными прогностическими признаками, непосредственно влияющими на тактику лечения ГСИ и не указанными в классификациях являются распространённость гнойно-воспалительного процесса, локализация и объем поражения грудины, характер патогенной микрофлоры, наличие сепсиса, а также стадии раневого процесса.

Анализ отечественной и зарубежной литературы так же показал, что в большинстве случаев пациентам с ГСИ, которым при дефектах или полном остеомиелитическом разрушении грудины необходима пластика дефекта передней грудной стенки, в условиях оказания специализированной торакальной хирургической помощи после этапа элиминации стеральной инфекции следующий за ним реконструктивно-пластический этап лечения осуществляются в одну госпитализацию, что имеет ряд существенных недостатков, значительно ухудшающих его результаты (Tsutsumi Y., 1994; Spindler N, 2017; Кабанов М. Ю. 2021; Chang C-H., 2022; Yu C-M. 2022).

По нашим данным количество этих пациентов составило 37,4 % от всех пациентов с ГСИ, и для них считаем целесообразным осуществлять последовательное этапное лечение ГСИ с раздельной этапной госпитализацией для элиминации гнойной инфекции и осуществления реконструктивно-пластического устранения дефекта передней грудной стенки.

В связи с выявленными недостатками имеющихся классификаций стеральной инфекции и современной

концепции этапности её лечения нами была дополнена её клинико-микробиологическая классификация для первого этапа лечения — элиминации гнойной инфекции:

Модифицированная классификация стеральной инфекции:

Течение СИ:

- Острое (до 6 недель)
- Хроническое (более 6 недель)
- Рецидивирующее (после проведенного лечения)

Степень поражения СИ:

- Поверхностная
- Глубокая

Характер поверхностных поражений грудной стенки

- наружный свищ
- открытая рана
- флегмона грудной стенки, абсцесс средостения.

Характер поражения грудины:*

- Лигатурная перфорация
- Расхождение створок грудины
- Очаговая фрагментация
- Тотальное поражение

Нестабильность грудины:*

- Грудина стабильная
- Грудина нестабильная

Характер медиастинита*

- Ограниченный
- Распространенный

Характер посева из операционной раны

- без значимого микробного роста
- положительный

Характер инфекции

- Бактериальная
- Грибковая
- Сочетанная

Этиология стеральной инфекции:

- Фирмикуты Грам (+)
- Грациликуты Грам (–)

Ассоциации микроорганизмов

- Отсутствует
- Ассоциация 2 видов бактерий
- Ассоциация 3 и более видов бактерий

Антибиотикорезистентность микробной флоры:

А. Категории приоритетности микроорганизмов**.

- 1 категория (критический уровень)
- 2 категория (высокий уровень)
- 3 категория (средний уровень)

В. Антибиотикорезистентность микроорганизмов:

- Чувствительны к исследуемым антибиотикам
- Устойчивы к 3 и более антибиотикам (multi drug resistance MDR)
- Устойчивость к 5 и более антибиотикам (super extensive drug resistance SDR)
- Устойчивы к 9 и более антибиотикам (pan drug resistance PDR)

Тяжесть течения СИ:

- Отсутствие сепсиса

— Наличие сепсиса (сепсис с развитием или прогрессированием множественной органной дисфункции, сепсис с развитием шока)

* — при наличии глубокой стеральной инфекции.

** — по классификации ВОЗ 2024 года. Категории, адаптированные к условиям региона и особенностям патологии стеральной инфекции.

Предложенная нами модифицированная классификация стеральной инфекции после кардиохирургических операций создана для первого этапа её лечения и отражает основные характеристики гнойно-воспалительного процесса, патогенной флоры, её местные проявления и стадии течения раневого процесса.

На основе этой классификации нами использовался алгоритм лечения с применением экстренных и отсроченных операций.

Экстренное оперативное лечение осуществлялось при наличии у пациентов флегмоны передней грудной стенки и заблокированного абсцесса средостения. В 8,8 % случаев проводилось вскрытие и дренирование гнойника с медиастинотомией.

При наличии открытых ран передней грудной стенки, не требующих экстренной операции, осуществлялись отсроченные операции вследствие необходимости коррекции лекарственной коагулопатии перед вмешательством для контролируемого гемостаза в ходе операционного вмешательства.

Среди отсроченных операций в 56,0 % случаев гнойно-воспалительный процесс был обусловлен наличием повреждения 1–2 фиксирующих грудину лигатур (лигатурные перфорации) со стабильной грудinou без распространения гнойного воспаления в переднее средостение. В таких случаях выполнялась хирургическая обработка раны с удалением лигатур и дренированием операционной раны по Редону. В 13,6 % случаев в группе риска прогрессии ГСИ проводилась вакуумная терапия операционной раны через швы в течение 7–10 дней после операции.

В 34,4 % случаях при фрагментации грудины с развитием стерномедиастинита проводилась хирургическая обработка и дренирование раны с формированием медиастинотомы, характер которой (ограниченная или на всем протяжении грудины) зависел от ограниченного или распространенного характера распространения медиастинита.

В 1 (0,8 %) случае при сохранении целостности створок грудины, отсутствии макроскопических признаков гнойного воспаления, лабораторных и клинических проявлений синдрома системного воспалительного ответа, отрицательном бактериологическом исследовании отделяемого из операционной раны в срок до 1 месяца после стернотомии выполнен ранний реостеосинтез грудины с послеоперационной вакуумной терапией через швы операционной раны.

Характеристика гнойной инфекции была необходима для планирования и осуществления общей и местной ан-

тибактериальной терапии с использованием как антибиотиков, так и местных антибактериальных средств, применения бактериофагов для преодоления бактериальной устойчивости патогенной флоры.

Наличие или отсутствие проявлений сепсиса определяло тяжесть течения стеральной инфекции и состояния пациентов, объем проведения общих лечебных мероприятий.

Осуществление пластики дефекта грудной стенки после перенесенного остеомиелита и перихондрита грудины и ребер возможно только в условиях полной элиминации стеральной инфекции и при повторной этапной госпитализации пациентов для её осуществления, указание о гнойной стеральной инфекции противоречит сущности этого этапа лечения.

Так, М. А. Медведчиков-Ардия (2024) рассматривал реконструктивно-пластическое лечение дефектов передней грудной стенки после различных причин их возникновения как самостоятельный раздел реконструктивной хирургии грудной стенки.

Для осуществления реконструктивного этапа устранения дефекта передней грудной стенки необходимо указание стабильности грудины, описание характера последствий перенесенного остеомиелита грудины, степени операционного риска с формированием на их основе лечебного алгоритма, аналогичного классификации AMSTERDAM (van Wingerden J. J., 2015).

Нами для реконструктивно-пластического этапа лечения пациентов с ГСИ после ССТ используется следующая собственная классификация и основанный на ней алгоритм лечения:

Классификация дефектов передней грудной стенки у пациентов после ССТ и ГСИ.

Стабильность грудины

— Стабильная

— Нестабильная

Характер поражения грудины:

— Створки грудины с диастазом: сохранены или имеют не более 1–2 переломов; с фрагментацией одной из них

— Ограниченная фрагментация грудины: верхней половины; нижней половины

— Полная фрагментация.

Таким образом, современная концепция лечения пациентов с ГСИ с осуществлением последовательных этапов элиминации гнойной раневой инфекции и, для пациентов с дефектами или полным остеомиелитическим разрушением грудины, — реконструктивной пластики передней грудной стенки в условиях отдельной госпитализации для этих этапов лечения требует пересмотра и модификации существующих классификаций.

Для этапа элиминации классификация стеральной инфекции должна содержать характеристики гнойно-инфекционного раневого процесса. При осуществлении реконструктивно-пластического этапа лечения — наличие стабильности грудины, характера последствий перенесенного остеомиелита грудины и степени операцион-

Таблица 4. Алгоритм лечения дефектов передней грудной стенки у пациентов после ССТ с ГСИ на реконструктивно-пластическом этапе

Стабильность грудины	Характер поражения грудины	Степень операционного риска ASA	Хирургическая тактика
Нестабильная грудина	Створки грудины целые или имеют не более 1–2 поперечных перелома	Любая	Реостеосинтез, послеоперационная VAK- терапия
	Фрагментация одной створки грудины	до III ст.	Субтотальная резекция, экстирпация грудины + ПДГ с использованием сальника, сетчатого имплантата, БГМ
		IV	Открытый метод лечения операционной раны + VAK- терапия без ПДГ
	Полная фрагментация грудины	до III ст.	Субтотальная резекция, экстирпация грудины + ПДГ с использованием сальника, сетчатого имплантата, БГМ
		IV	Лечение операционной раны открытым методом, послеоперационная VAK- терапия без ПДГ
	Фрагментация верхней половины	Любая	Резекция грудины + ПДГ лоскутами БГМ
Грудина стабильная	Фрагментация нижней половины	до III ст.	Резекция грудины + ПДГ прямой мышцей живота
		IV	Лечение операционной раны открытым методом, послеоперационная VAK-терапия без ПДГ

ного риска для формирования на их основе лечебного алгоритма.

Этим требованиям отвечают предложенные нами классификации для пациентов с ГСИ и лечебные алгоритмы на их основе.

Таким образом, на основе анализа данных отечественных и иностранных авторов, современных аспектов реализации этапной тактики лечения ГСИ у пациентов после кардиохирургических операций со ССТ, выделением

этапности их лечения и госпитализации для элиминации ГСИ и реконструктивно-пластического устранения дефекта передней грудной стенки можно сделать вывод о несовершенстве ранее предложенных классификаций ГСИ.

Предложенные нами классификации для современного этапного лечения ГСИ и основанный на них алгоритм лечения дефектов передней грудной стенки после ССТ у пациентов с ГСИ на реконструктивно-пластическом этапе наиболее полно отражают его сущность.

Литература:

1. Леднев П. В., Белов Ю. Н., Стоногин А. В., Лысенко А. В., Салагаев Г. И. Послеоперационный стерномедиастинит. Хирургия 2018 № 4 с 84–89 <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018484-89>
2. Бокерия Л. А., Абдулгасанов Р. А., Шогенов М. А., Абдулгасанова М. Р. Стерномедиастинит: современные методы диагностики и лечения. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2021; 63 (1) с. 7–19 DOI: 10.24022/0236-2791-2021-63-1-7-19
3. Брюсов П. Г., Лищук А. Н., Потапов В. А. Послеоперационный стерномедиастинит. Комплексный подход к лечению. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024. — 128 с.
4. Вишневский А. А., Рудаков С. С., Миланов Н. О. Хирургия грудной стенки. — М.: Видар, 2005. — 305 с.
5. Кохан Е. П., Александров А. С. Послеоперационные медиастиниты. Диагностика и лечение. Хирургия 2011; № 9 с. 22–26.
6. Порханов В. А., Печетов А. А., Митиш В. А. и др. Клинические рекомендации по хирургическому лечению больных послеоперационным медиастинитом и остеомиелитом грудины и ребер. Краснодар: Москва, 2014. 25с.
7. Morgante A., Romeo F., Deep Sternal Wound Infections: A Severe Complication After Cardiac Surgery G Chir Jan-Feb 2017;38(1):33–36. doi: 10.11138/gchir/2017.38.1.033
8. van Wingerden J. J. Poststernotomy mediastinitis revisited // UvA-DARE is a service provided by the library of the University of Amsterdam (<http://dare.uva.nl>) (pagedate: 2015–11–03).
9. Корымасов, Е. А. Постстернотомный медиастинит: монография / Е. А. Корымасов, М. А. Медведчиков-Ардия. — Москва: Издательство «Перо», 2021. — 152 с.
10. Atkins BZ, Onaitis MW, Hutcheson KA, Kaye K, Petersen RP, Wolfe WG. Does method of sternal repair influence long-term outcome of postoperative mediastinitis? Am J Surg. 2011 Nov;202(5):565–7. doi: 10.1016/j.amjsurg.2011.06.013. Epub 2011 Sep 14.

11. Robicsek F. Postoperative sterno-mediastinitis. *Am Surg*. 2000 Feb;66(2):184–92.
12. Столяров С. И., Добров А. В. Тактика лечения больных с постстернотомным передним стерномедиастинитом // *Материалы 3 Международного конгресса «Раны и раневые инфекции»*. – Москва. — 2016. –С. 295–297.
13. Obdeijn M. C., de Lange M. Y., Lichtendahl D. H. [et al.]. Vacuum-assisted closure in the treatment of poststernotomy mediastinitis // *Ann Thorac Surg*. — 1999. — Vol. 68. — P. 2358–2360.
14. Schimmer C, Sommer SP, Bensch M, Bohrer T, Aleksic I, Leyh R. Sternal closure techniques and postoperative sternal wound complications in elderly patients. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2008 Jul;34(1):132–8. doi: 10.1016/j.ejcts.2008.04.006. Epub 2008 May 9.
15. Ennker IC, Albert A, Pietrowski D, et al. 2009. Impact of gender on outcome after coronary artery bypass surgery. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 17:253–8.
16. Morisaki A, Hosono M, Sasaki Y, Hirai H, Sakaguchi M, Nakahira A, Seo H, Suehiro S, Shibata T. Evaluation of risk factors for hospital mortality and current treatment for poststernotomy mediastinitis. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2011 Apr;59(4):261–267. doi: 10.1007/s11748-010-0727-3. Epub 2011 Apr 12.
17. Fleck TM, Koller R, Giovanoli P, Moidl R, Czerny M, Fleck M, Wolner E, Grabenwoger M. Primary or delayed closure for the treatment of poststernotomy wound infections? *Ann Plast Surg*. 2004 Mar;52(3):310–4.
18. Brandt C., Alvarez J. M. First-line treatment of deep sternal infection by a plastic surgical approach: superior results compared with conventional cardiac surgical orthodoxy // *Plast Reconstr Surg*. –2002. — Vol. 109. — P. 2231–2237.
19. Parissis H, Al-Alao B, Soo A, Orr D, Young V. Risk analysis and outcome of deep mediastinal wound infections with specific emphasis to omental transposition. *J Cardiothorac Surg*. 2011;6:111
20. Modrau I. S., Ejlersen T., Rasmussen B. S. Emerging role of Candida in deep sternal wound infection // *Ann Thorac Surg*. — 2009. — Vol. 88. — P. 1905–1909.
21. Matros E, Aranki SF, Bayer LR, McGurk S, Neuwalder J, Orgill DP. Reduction in incidence of deep sternal wound infections: random or real? *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010 Mar;139(3):680–5. doi: 10.1016/j.jtcvs.2009.10.006. Epub 2009 Dec 16.
22. Chaudhuri A., Shekar K., Coulter C. Post-operative deep sternal wound infections: making an early microbiological diagnosis // *Eur J Cardiothorac Surg*. –2012. — Vol. 41. — P. 1304–1308.
23. Deschka H., Machner M., Wimmer-Greinecker G. Presternal false aneurysm due to osseous erosion of the right ventricle. *Thorac. Cardiovasc. Surg*. 2013;61(3):261–263. Doi.org/10.1055/s-0032-1327761
24. Tocco M. P., Ballardini M., Masala M., Perozzi A. Post-sternotomy chronic osteomyelitis: is sternal resection always necessary? // *Eur J Cardiothorac Surg*. — 2013. — Vol. 43. — P. 715–721.
25. El Oakley RM, Wright JE. Postoperative mediastinitis: classification and management. *Ann Thorac Surg*. 1996 Mar;61(3):1030–6.
26. Marchand P. The anatomy and applied anatomy of the mediastinal fascia. *Thorax*. — 1951. — Vol. 6, P. 359–368.
27. Spiess AM, Balakrishnan C, Gursel E. Fascial release of the pectoralis major: a technique used in pectoralis major muscle closure of the mediastinum in cases of mediastinitis. *Plast Reconstr Surg*. 2007 Feb;119(2):573–7.
28. Segers P, de Jong AP, Kloek JJ, de Mol BA. Poststernotomy mediastinitis: comparison of two treatment modalities. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2005 Dec;4(6):555–60. Epub 2005 Aug 9.
29. Pairolero PC, Arnold PG. Management of infected median sternotomy wounds. *Ann Thorac Surg*. 1986 Jul;42(1):1–2.
30. Schiraldi L, Jabbour G., Centofanti P, Giordano S., Abdelnour E., Gonzalez M., Raffoul W., di Summa PG Deep Sternal Wound Infections: Evidence for Prevention, Treatment, and Reconstructive Surgery *Arch Plast Surg* 2019 Jul;46(4):291–302. doi: 10.5999/aps.2018.01151. Epub 2019 Jul 15.
31. Jones G., Jurkiewicz M. J., Bostwick J. [et al.]. Management of the infected median sternotomy wound with muscle flaps. The Emory 20-year experience // *Ann Surg*. — 1997. — Vol. 225. — P. 766–776.
32. Anger J., Dantas DS, Arnoni RT, Frasky PS. A new classification of poststernotomy dehiscence. *Rev Bras Cir Cardiovasc Orgao of Soc Bras Cir Cardiovasc*. 2015;30(1):114–118. <https://doi.org/10.5935/1678-9741.20140033>
33. Rupperecht L, Schmid C. Deep sternal wound complications: an overview of old and new therapeutic options. *Open J Cardiovasc Surg* 2013;6:9–19. DOI: 10.4137/ojcs.s11199
34. Gårdlund B., Bitkover C. Y., Vaage J. Postoperative mediastinitis in cardiac surgery — microbiology and pathogenesis // *Eur J Cardiothorac Surg*. — 2002. — Vol. 21. — P. 825–830.
35. Кабанов М. Ю., Крюков Н. А., Биниенко М. А., Кравцова О. С., Беликова М. Я., Семенцов К. В. Лечение послеоперационного переднего медиастинита, остеомиелита грудины у пациентки с новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) *Хирургия. Журнал имени Н. И. Пирогова* 2021, № 4 с. 53–57 <https://doi.org/10.17116/hirurgia202104153>
36. Tsutsumi Y, Ohhashi H, Murakami A, Ueyama K, Fukahara K, Ohnaka M. [The management of mediastinitis after cardiac surgery]. [Article in Japanese] *Kyobu Geka*. 1994 Aug;47(9):740–3.
37. Spindler N., Etz C., Misfeld M., Josten C., Borger M., Wilhelm Mohr F., Langer S. [Pedicled Omentum Flaps in the Management of Deep Sternal Wound Infections] [Article in German] *Zentralbl Chir*. 2018 Apr;143(2):138–141. doi: 10.1055/s-0043-111724.

38. Chang C-H., Huang C-C., Lin C-M., Huang C-M, Lin C-C., Chuang C-C., Hsu H. Evaluating the effectiveness of using negative pressure wound therapy in the preservation of the infected prosthetic aortic graft Surgery. 2022 Oct;172(4):1179–1184. doi: 10.1016/j.surg.2022.05.015.
39. Yu C-M., Yao W-T, Chen Y-F. 1 2, Lee A-L, Liu Y-C, Tu C-P, Huang W-C, Tung K-Y, Tsai M-F Efficacy and safety of pectoralis muscle flap combined rectus abdominis muscle sheath fasciocutaneous flap for reconstruction of sternal infection Int Wound J. 2022 Nov;19(7):1829–1837. doi: 10.1111/iwj.13788.
40. Медведчиков-Ардия М. А. Клинико-анатомическое обоснование миопластики при раневых дефектах грудной стенки инфекционно-воспалительного генеза. Дисс. на соискание... д-ра мед. наук. Самара 2024, 268 с.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 15 (618) / 2026

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шишков
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 22.04.2026. Дата выхода в свет: 29.04.2026.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.